



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30.

AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, tests publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30.

UNIVERSITE D'OTTAWA

RELATIONS ENTRE REGIME HYDROLOGIQUE
ET CLIMAT : le cas de la rivière Nation du Sud
(Ontario)

Par Pierre Nantel

Thèse soumise à l'École des études
supérieures et de la recherche
en vue de l'obtention du grade de
maître ès arts en géographie

Mai 1987

© Pierre Nantel, Ottawa, Canada, 1988.

Permission has been granted to the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) has reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve les autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation écrite.

ISBN 0-315-46827-0



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

Remerciements/Acknowledgements

La rédaction de cette thèse n'a pu se faire qu'avec l'aide de plusieurs personnes. J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, Daniel Lagarec pour qui je tiens une très grande estime. Sans ses judicieux conseils, sa grande disponibilité et sa patience, cette thèse n'aurait jamais vu le jour. Dans notre langage quotidien je vous remercie "Maitre".

En plus je ne puis passer sous silence l'aide fournie par le Dr Michel Phipps. D'abord pour m'avoir permis d'utiliser "PEGASE", ensuite pour ses conseils pertinents sur son utilisation et les différents aspects des résultats.

Ce type de recherche requiert une quantité impressionnante d'information (Données), je remercie M. R.G. Boals, superviseur de la section du Contrôle des données du ministère de l'Environnement du Canada, Division des eaux intérieures, pour m'avoir fourni gratuitement les données hydrométriques dont j'avais besoin.

Je serai toujours reconnaissant pour l'aide financière et pratique qui me fut fournie par le Département de géographie de l'Université d'Ottawa.

Finalement, merci à mon confrère Daniel Hamelin pour son aide

dans la conception de plusieurs programmes informatiques
nécessaires à cet ouvrage.

Résumé

Dans le domaine de l'hydrologie plusieurs types d'études ont permis de mieux comprendre l'évolution et la dynamique des régimes d'écoulement. L'exposé qui suit s'intéresse plus particulièrement à l'aspect intrant/sortant de ce phénomène.

Pour mieux saisir les modalités des contraintes exercées par le climat sur l'évolution des régimes hydrologiques, nous avons opté pour l'utilisation d'une procédure de classification basée sur le concept de l'entropie maximale (PEGASE). L'ensemble des prérequis de départ pouvaient être respectés dans le cas d'une étude temporelle.

La procédure fut utilisée pour l'analyse de l'écoulement des années 1972 à 1982 pour le bassin hydrologique de la rivière Nation du Sud, dans l'est de l'Ontario.

La classification nous a permis de définir trois organisations climatiques correspondant à trois types de régimes hydrologiques annuels distincts; le premier définit les régimes hydrologiques à quatre saisons où les deux périodes d'étiage et de crue sont présents, le deuxième ressemble en général au premier mais il est caractérisé par un printemps pluvieux. Finalement le troisième type ne distingue aucune saison hydrologique, il représente des périodes pluvieuses très importantes.

PEGASE nous permet d'identifier les variables les plus discriminantes pour chacune des années et de mieux comprendre la signification des quantités d'eau s'écoulant à l'exutoire.

ABSTRACT

In the domain of hydrology many types of studies have permit a better understanding of the evolution and dynamics of streamflow. The following study is particularly related to the input/output aspect of that phenomena.

For a better understanding of the constraint modality exercised by the climate on the hydrologic regime evolution, we decided to use a classification procedure base on the concept of maximum entropy (PEGASE). The entire pre-requirement could be respected in the case of a temporal study.

The procedure was used for the analysis of streamflow for the years 1972 to 1982 for the South Nation river, located in the East of Ontario.

The classification give us the possibility to defined three climatic systems related to three specific types of hydrological regime; the first regime is defined by four seasons where two periods of low flow and two periods of floods are present; the second one is similar to the first one, but it is characterized by more précipitations during spring. And finally, the third type doesn't distinguish any hydrological season and represente many précipitations event.

PEGASE allows us to identify the more discriminant variables for each year and a better understanding of the signification of the amount of water going out of the basin.

Table des matières

	PAGE
-Remerciements/Acknowledgements.....	1
-Résumé/Abstract.....	111
-Table des matières.....	iv
-Liste des tableaux et figures.....	v
-Liste des annexes.....	vi
I. INTRODUCTION.....	1
1.1 Définition du problème.....	4
1.2 Approche.....	4
II. METHODOLOGIE.....	8
2.1 Définition de la procédure PEGASE.....	9
2.2 Aspects.....	10
2.3 Critères et règle d'arrêts.....	11
III. REGION A L'ETUDE.....	14
3.1 Localisation.....	15
3.2 Hydrographie.....	16
3.3 Climat.....	20
3.4 Géologie et dépôts de surface.....	22
3.5 Conclusion.....	23
IV. TRAITEMENT DE L'INFORMATION.....	26
4.1 Variable dépendante.....	28
4.2 Variable DEBAUTO.....	30
4.3 Variables climatiques.....	30
4.3.1 Température.....	30
4.3.2 Précipitation.....	33
4.3.3 Neige au sol.....	37
4.3.4 Pression atmosphérique.....	39
4.3.5 Ennuagement.....	41
4.3.6 Radiation globale.....	41
V. RESULTATS.....	44
5.1 Paliers de division.....	50
5.2 Pourcentage de contribution de la variable DEBAUTO.....	53
5.3 Contribution des variables climatiques.....	60
5.4 Pourcentage de négentropie de chacune des classes du débit.....	66
VI. DISCUSSION DES RESULTATS.....	69
6.1 Contribution des variables indépendantes.....	70
6.2 Régimes d'écoulement vs régimes climatiques.....	76
VII. CONCLUSION.....	85
-Bibliographie.....	89
-Annexe	

Liste des tableaux et figures

	PAGE
TABLEAU I.	Moyennes des précipitations mensuelles.....21
TABLEAU II.	Variable dépendante.....28
TABLEAU III.	Tempmax (température maximale).....31
TABLEAU IV.	Tempmin (température minimale).....32
TABLEAU V.	Tempamp (amplitude des températures).....33
TABLEAU VI.	Groupe de stations climatiques.....35
TABLEAU VII.	Precclass (précipitations classées).....37
TABLEAU VIII.	Neigesol (Neige au sol).....38
TABLEAU IX.	Presmax (pression maximale).....39
TABLEAU X.	Presamp (amplitude des pressions).....40
TABLEAU XI.	Nuage (Ennuagement).....41
TABLEAU XII.	Radiaglo (Radiation globale).....42
TABLEAU XIII.	Néguentropie réelle.....49
TABLEAU XIV.	Pourcentage de contribution (DEBAUTO).....55
TABLEAU XV.	Pourcentage de distribution des classes de DEBAUTO.....56
TABLEAU XVI.	Pourcentage de néguentropie des classes de DEBAUTO.....58
TABLEAU XVII.	Pourcentage de contribution des variables climatique...61
TABLEAU XVIII.	Pourcentage de néguentropie des classes de débit.....67
TABLEAU XIX.	Contribution des variables indépendantes (en %).....70
FIGURE 1.	Localisation du bassin de la Nation du Sud.....17
FIGURE 2.	Distribution des moyennes de l'écoulement.....19
FIGURE 3.	Localisation des stations.....26. a
FIGURE 4.	Localisation des groupes de stations climatiques.....34
FIGURE 5.	Courbe de l'entropie.....44
FIGURE 6.	Courbe de l'écoulement (1973-74, 1977-78, 1978-79).....46
FIGURE 7.	Distribution initiale (1978-79, 1981-82).....51

Liste des annexes

- Annexe I Distribution des débits journaliers maximums
- Annexe II. a-. j Distribution des précipitations, des classes de débit et courbe de l'écoulement
- Annexe III Précipitations nivales totales (Chesterville et Ottawa Int'l A)
- Annexe IV Tableau des classes pour les variables choisies
- Annexe V. a-. k Dendrogrammes
- Annexe VI Liste des variables et de leurs numéros

INTRODUCTION

Les ingénieurs et les géomorphologues se sont depuis longtemps conjointement intéressés aux processus hydrologiques. En effet, plusieurs aspects de l'écoulement ont fait l'objet de recherches approfondies. Quoique n'ayant pas le même but, l'ingénierie et la géomorphologie se sont particulièrement préoccupées de certaines caractéristiques de ce phénomène. Citons comme exemples la compétence des cours d'eaux, la distribution des débits, les types de régimes, le pouvoir érosif des cours d'eau ...etc.

Pour les ingénieurs, la bonne compréhension des comportements hydrologiques est primordiale pour l'application à des projets d'aménagement (barrage, irrigation, aménagement de voies navigables). Pour les géomorphologues, l'intérêt provient du fait que l'hydrologie représente un processus majeur de l'évolution du modelé, l'écoulement étant le processus d'aplanissement du relief le plus actif.

Plusieurs types d'approche ont été développés afin de pouvoir d'une part, quantifier la perte de sédiments, et d'autre part comprendre l'évolution temporelle et spatiale de ce processus. Parmi les plus connus nous pouvons citer les modèles mathématiques basés sur les principes de la physique des fluides

(Carlston, 1963 ; Bagnold, 1966), les modèles quantitatifs basés sur le principe des ordres des cours d'eaux (Strahler, 1952 ; Scheidegger, 1968 et 1970), et enfin, les divers modèles statistiques (Yevjevich, 1972), et les modèles stochastiques, tels que ceux basés sur les principes de la thermodynamique (modèle intégré) (Yang, 1971 ; Leopold et Langbein, 1962 ; Strahler, 1952 ; Chorley et Kennedy, 1971 ; Bennett et Chorley, 1978 ; Wilson, 1981).

Ces études se sont principalement attardé aux aspects mécaniques (érosion) de l'hydrologie. En effet très peu de chercheurs se sont intéressé au phénomène de l'écoulement annuel comme tel. Dans ce domaine peu d'études ont porté sur une année hydrologique prise comme un ensemble et sur les facteurs climatiques pouvant expliquer son évolution. La plupart des travaux portant surtout sur certains types de régime pris séparément (crue , tarissement et étiage), les modèles qui en découlent sont souvent de type prédictif (Sangal, 1981) ou de type empirique (Yevjevich, 1972). On a bien sûr examiné les relations existant entre l'écoulement annuel et les variations climatiques, mais la plupart de ces travaux ne tenaient compte que d'une seule variable climatique, soit les regimes des précipitations (Fournier, 1960), ou encore les températures moyennes journalières (Lamas et Triboulet, 1976).

L'écoulement se définit comme un phénomène cyclique annuel. Il est obtenu d'une série successive de régimes hydrologiques saisonniers où chacun des régimes est plus ou moins bien marqué au niveau temporel.

Pour nous, l'écoulement annuel représente une réponse à un phénomène de fourniture d'eau. Cette réponse est directement liée aux régimes climatiques influençant un bassin. Les apports en eau peuvent, dépendamment du niveau de saturation du milieu physique (bassin), être directement évacués ou servir à la recharge de la nappe phréatique. Par contre, pour les périodes sans précipitations l'écoulement devient strictement lié à la compétence de la nappe phréatique. En plus, pour les bassins situés en zone tempérée froide, il y a stockage d'eau sous forme de neige pendant la période hivernale et libération lors de la période du réchauffement printanier. Enfin une certaine quantité d'eau est évacuée par l'écoulement souterrain.

Nous assumons au départ qu'il existe une interrelation entre le climat et le débit. C'est justement le niveau de dépendance entre ces deux phénomènes que cette étude se propose de comprendre et d'évaluer. Pour ce faire nous élaborerons d'abord une approche méthodologique, qui sera par la suite appliquée à un bassin hydrologique du sud-est ontarien, celui de la rivière Nation du Sud.

1.1 : DEFINITION DU PROBLEME

Cette étude portera essentiellement sur les relations intrant/sortant du cycle hydrologique annuel. L'intrant correspondant aux variations de la quantité d'eau (précipitations) reçue par le bassin hydrographique et le sortant à l'écoulement de surface et souterrain.

Notre objectif est de pouvoir confronter l'évolution spatio-temporelle des conditions climatiques, qui ont influencé un bassin pendant un certain nombre d'années, à l'évolution de l'organisation des régimes hydrologiques. Cette comparaison va nous permettre d'évaluer la puissance des liens existant entre ces deux phénomènes.

1.2 : APPROCHE

L'élaboration de notre approche méthodologique découle d'une recherche et d'une réflexion approfondie de notre sujet d'étude. En effet, il s'avérait nécessaire de trouver ou d'élaborer une procédure capable de répondre à nos problèmes spécifiques. Nous recherchions une méthodologie capable d'évaluer le niveau d'interrelation existant entre deux phénomènes évoluant sur une période de temps déterminée. En plus elle devait être capable d'effectuer ce type d'analyse en confrontant une variable dépendante à une série de variables indépendantes. Le modèle que

nous cherchions, devait aussi être capable de tenir compte de la structure dynamique de la matrice de données, représentée par les variables discontinues.

Nous avons d'abord considéré l'utilisation de modèles du type multivarié (régression linéaire et non-linéaire) et sérielles (cospectrale et ARIMA). Suite à un examen de ces différentes approches, nous avons constaté qu'elles s'avéraient des outils idéaux pour l'analyse de phénomènes linéaires. Ces procédures s'avérant très efficaces pour l'analyse de relations directes, dans le sens où l'action de l'intrant engendre automatiquement une réaction du sortant ce qui n'est pas le cas pour un bassin en zone tempérée froide. De ce fait, les modèles de type linéaire sont de très bons outils pour les bassins qui ne sont pas sous l'influence d'une saison froide (stockage de l'intrant). En ce qui concerne les modèles de type non-linéaire, ils sont difficilement utilisables dans le domaine des analyses multivariées. Dans notre cas, l'ensemble de ces modèles pourraient servir à une étude saisonnière et non annuelle. Puisque dans un climat de type tempéré froid les régime d'écoulement saisonniers sont dépendants les uns des autres, nous avons préféré utiliser une approche annuelle.

Pour ce faire, nous nous sommes alors intéressé à un type d'approche de plus en plus utilisé dans différents domaines de la géographie (Yang, 1971 ; Leopold et Langbein, 1962 ; Strahler,

1952 ; Batty, 1974 ; Betak, 1974 ; Gurevich, 1969 ; Marchand, 1975 ; et d'autres). Ces auteurs se sont tous servis d'une approche basée sur la théorie de l'information en appliquant à des cas réels le modèle de maximisation de l'entropie.

Cette approche consiste au départ à déterminer une valeur entropique maximale sujette à des propriétés hypothétiques du système. Cette valeur peut dériver de fonctions probabilistes ou encore de fonctions générales et elle constitue les contraintes actives sur le système. Par contre, ce type de démarche présuppose au départ que l'on connaît la structure du modèle que nous testons et ce n'est malheureusement pas le cas pour la plupart des phénomènes physiques. Cette approche déductive devient très difficilement utilisable dans notre cas.

D'autre part, M. Phipps (1979) propose une procédure (PE-GASE¹) permettant à l'utilisateur de procéder de façon inductive à l'élaboration d'un modèle d'entropie maximum. Cette façon de procéder a surtout retenu notre attention. De façon théorique l'auteur conçoit une méthodologie basée sur l'analyse des propriétés de chacune des variables pour en déterminer les contraintes et celles-ci permettent d'établir la structure du modèle. Cette méthodologie a pour avantage de travailler à partir d'observations et non sur des contraintes postulées a priori, ce qui la rend très intéressante.

1. "Partition d'un Ensemble Géographique pour l'Analyse Spatiale Ecologique".

Face à notre type de problématique, cette procédure nous est apparue l'outil idéal. Elle nous permet de diviser une série hydrologique en groupes de jours ayant des contraintes climatiques semblables. En d'autres termes, elle nous offre une méthode d'association de deux types d'événements à l'aide d'un regroupement maximal des jours.

La suite de cette étude est subdivisée en quatre chapitres: Le premier sera consacré à une description de la méthodologie employée. Le deuxième portera sur une présentation de différents aspects du bassin hydrographique de la Nation du Sud. Le troisième chapitre portera essentiellement sur l'élaboration de la matrice de données; nous discuterons également des variables utilisées et des intervalles de classe choisis. Une analyse des résultats obtenus de la procédure *PEGASE* composera le quatrième chapitre; cette étude sera principalement axée sur l'interprétation hydrologique. L'aspect climatique sera traité au cinquième chapitre. Finalement en guise de conclusion, nous discuterons des implications d'une telle recherche.

CHAPITRE II

METHODOLOGIE

Jusqu'à maintenant, la procédure *PEGASE* (Phipps, 1979) a été essentiellement utilisée pour l'analyse de phénomènes spatiaux telle que l'analyse du paysage écologique (Morin, 1979 ; Phipps, 1981, 1982, 1983 ; Michaud, 1985) et elle fut tout récemment employée dans le domaine de la géomorphologie, avec laquelle on a obtenu de très bon résultats (Dewez, Lagarec & Phipps, 1986). Ces nombreuses applications ont largement justifié son emploi et démontré les capacités d'analyse d'une telle procédure.

Dans le domaine de l'analyse de phénomènes spatiaux, on justifie l'application de cette procédure de la façon suivante:

"Si on considère que l'espace peut être représenté par une collection de points où chacun d'eux est défini par un état "géomorphologique" et un état particulier pour chaque variable climatique, la procédure est conçue pour lever au maximum l'indétermination d'une variable F ... en divisant l'espace selon des caractéristiques $V_1 \rightarrow V_n \dots$ " (Dewez, 1986).

De cette définition nous pouvons justifier l'application de *PEGASE* en formulant la relation climat/débit de la façon suivante:

"Si on considère l'écoulement comme un phénomène continu que l'on peut définir par une série de jours où chacun d'eux est défini par un état "quantité moyenne d'eau

écoulée" (variable dépendante) et à chacun de ces jours nous pouvons associé un état particulier pour chaque variable climatique (variable indépendante), la procédure est conçue pour lever au maximum l'indétermination d'une variable $F \dots$ en divisant le temps selon des caractéristiques $V_1 \rightarrow V_n \dots$ "

Cette formulation de notre problématique répond alors en tous points aux fondements de l'analyse. En plus, nous éliminons le biais de rendre ponctuel un phénomène de surface. Notre étude nous permet alors de vérifier la capacité d'analyse de la procédure dans un nouveau domaine d'application.

2.1 : DEFINITION DE LA PROCEDURE PEGASE

De façon générale, la procédure *PEGASE* va chercher à regrouper, à l'aide de l'information climatique, les 365 ou 366 jours composant une année hydrologique de manière à reproduire le plus fidèlement possible les régimes d'écoulement. Chacun des regroupements est alors composé d'une combinaison de jours ayant des caractéristiques climatiques semblables. Au niveau temporel, un groupe composé d'une série plus ou moins longue de jours consécutifs sera alors défini comme un régime hydrologique.

Les modalités de cette procédure a fait depuis 1979 l'objet de plusieurs articles où le lecteur en trouvera une description très détaillée. Dans ce chapitre, nous ne ferons que discuter des

principaux aspects et des critères à définir lors de l'utilisation de PEGASE.

2.2 : ASPECTS

Ce qu'il est important de retenir, c'est qu'au départ la procédure considère la totalité des états (dans notre cas les jours) représentés sous forme de classes comme un seul ensemble. A chacun de ces états est associé une série de caractéristiques V_i représentant les variables indépendantes. Pour cet ensemble V , est alors calculée une entropie initiale H_1 correspondant au niveau d'indétermination de départ. Cette entropie est calculée selon la formule suivante:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \text{ où } p_i = \text{fréquence en \% de la classe } F_i$$

La procédure tentera alors, par le biais d'une classification, de lever le plus d'indétermination possible, autrement dit d'atteindre une néguentropie maximale pour la variable F . Cette levée d'indétermination s'effectuera étape par étape par la sélection de certaines caractéristiques des variables indépendantes.

Le déroulement de la procédure s'effectue par une série d'étapes que constituent les paliers de division. A chacun de ces paliers, la procédure teste l'ensemble des variables V_i , par rapport à la variable F . Dépendamment du critère choisi (dans notre cas le critère d'information mutuelle maximale), la variable la plus importante sera alors sélectionnée et divisera l'ensemble des points de départ en fonction des classes qui la composent. Ces classes forment alors des sous-ensembles qui seront, au palier suivant, considérés comme des unités indépendantes. Si au palier suivant un sous-ensemble n'est pas redivisé il constitue alors un sous-ensemble-solution.

La procédure se termine lorsque la division enfreint une des trois règles d'arrêt qui sont au préalable fixées par l'utilisateur.

2.3 : Critères et règle d'arrêts

Ils sont dans notre cas établis comme suit:

- 1- Lorsque le nombre de jours d'un sous-ensemble-solution est inférieur à 10.
- 2- Lorsque l'entropie devient inférieure à 0.10 qui constitue le degré de précision.
- 3- Lorsque qu'aucune division possible n'ajoute la négentropie significative.

Nous avons fixé la première règle d'arrêt à 10 jours de façons à optimiser la discrimination des événements de précipitation de moyenne durée. En plus nous avons choisi le critère d'information mutuelle maximale, car celui-ci utilise la variable qui apporte le maximum de négentropie. Il permet alors une classification beaucoup plus complexe car il minimise le nombre de paliers et favorise la création de plusieurs sous-ensembles-solutions, par opposition à celui basé sur le rapport de signification maximal, qui lui maximise la négentropie en minimisant le nombre de sous-ensembles-solutions.

Les résultats de la division sont alors représentés sous la forme d'un dendrogramme où l'on reconstitue chacun des paliers de division, en indiquant les variables V_1 qui les composent, l'entropie résiduelle de chacune des classes de la variable V_1 choisi et la distribution de chacune des classes de la variable dépendante.

Dans notre cas, PEGASE sera utilisée pour une analyse de chacune des dix années retenues. De façon à garder une homogénéité dans les résultats le critère de division et les règles d'arrêts seront les mêmes pour l'ensemble de la période. L'analyse des résultats se fera de façon comparative, où nous examinerons la variabilité de l'influence climatique par rapport aux régimes de l'écoulement.

Nous avons opté pour une analyse hydrométéorologique annuelle car ce phénomène correspond à une évolution cyclique, d'amplitude différente et non synchronisée annuellement, ce, qui a pour effet de pondérer l'aspect saisonnier de l'écoulement. En d'autres termes, d'une année à l'autre des changements climatiques similaires, dépendamment des conditions internes du bassin, n'auront pas le même impact sur l'écoulement. Cette constatation est tirée d'un essai que nous avons effectué sur une matrice comprenant l'ensemble des dix années à l'étude.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous avons choisi comme objet d'étude le bassin de la rivière Nation du Sud. Une présentation de ses principales caractéristiques fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE III

REGION A L'ETUDE

De façon à pouvoir optimiser le choix du bassin hydrographique, nous avons d'abord déterminé trois critères de sélection qui nous ont semblé essentiels par rapport à la méthodologie choisie. En premier lieu, l'aspect hydrologique de la région devait être composé d'un réseau de drainage de type homogène. Ce que l'on retrouve souvent pour les bassins évoluant dans une unité structurale homogène. De façon à obtenir de meilleures relations entre l'intrant et le sortant, le réseau devait favoriser une évacuation rapide des eaux et posséder le moins d'espaces de rétention possibles (lacs, marécages et tourbières).

Deuxièmement, au niveau climatique la région se devait d'être sous l'influence d'un seul type de régime climatique. Ce critère, impliquait alors un réseau de drainage évoluant sur un territoire où la différence d'élévation était la plus faible possible. Nous avons donc éliminé de la sélection, les bassins situés en région montagneuse où il y a une hétérogénéité climatique liée aux variations d'altitude (différences climatiques d'amont en aval).

Finalement le bassin hydrographique choisi, devait nous fournir l'information quantitative, d'abord en ce qui concerne la quantité d'eau évacuée à l'exutoire et préférentiellement à d'autres

endroits stratégiques (en amont de la rivière et sur les affluents). Ensuite au niveau climatique, le bassin devait comporter suffisamment de stations nous permettant de représenter les conditions atmosphériques qui ont influencé la région.

Après avoir consulté minutieusement d'abord les cartes de localisation des stations climatiques et hydrologiques et ensuite la documentation disponible pour chacun des bassins hydrographiques potentiellement utilisables, nous avons porté notre choix sur le bassin de la rivière Nation, du Sud. Au point de vue de l'information cette région nous offre un réseau de onze stations climatiques et de neuf stations hydrologiques, dont une située près de l'exutoire du bassin. Finalement, ce territoire a fait l'objet de plusieurs études par différents organismes.

Ce chapitre est essentiellement consacré à la présentation des différents aspects de la région drainé par la rivière Nation du Sud

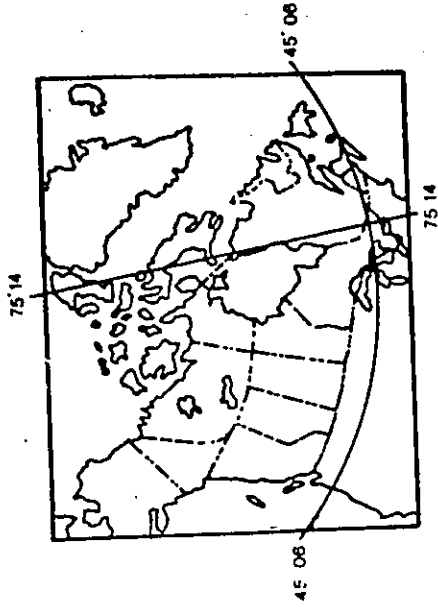
3.1 : LOCALISATION

La rivière de la Nation du Sud est située dans la partie sud-est de la province de l'Ontario. Au centre du bassin, nous retrouvons la ville de Chesterville située à 50 km au sud-est d'Ottawa. Elle représente avec la rivière Rideau un des principaux bassins drainant de l'interfluve de la rivière des Outaouais

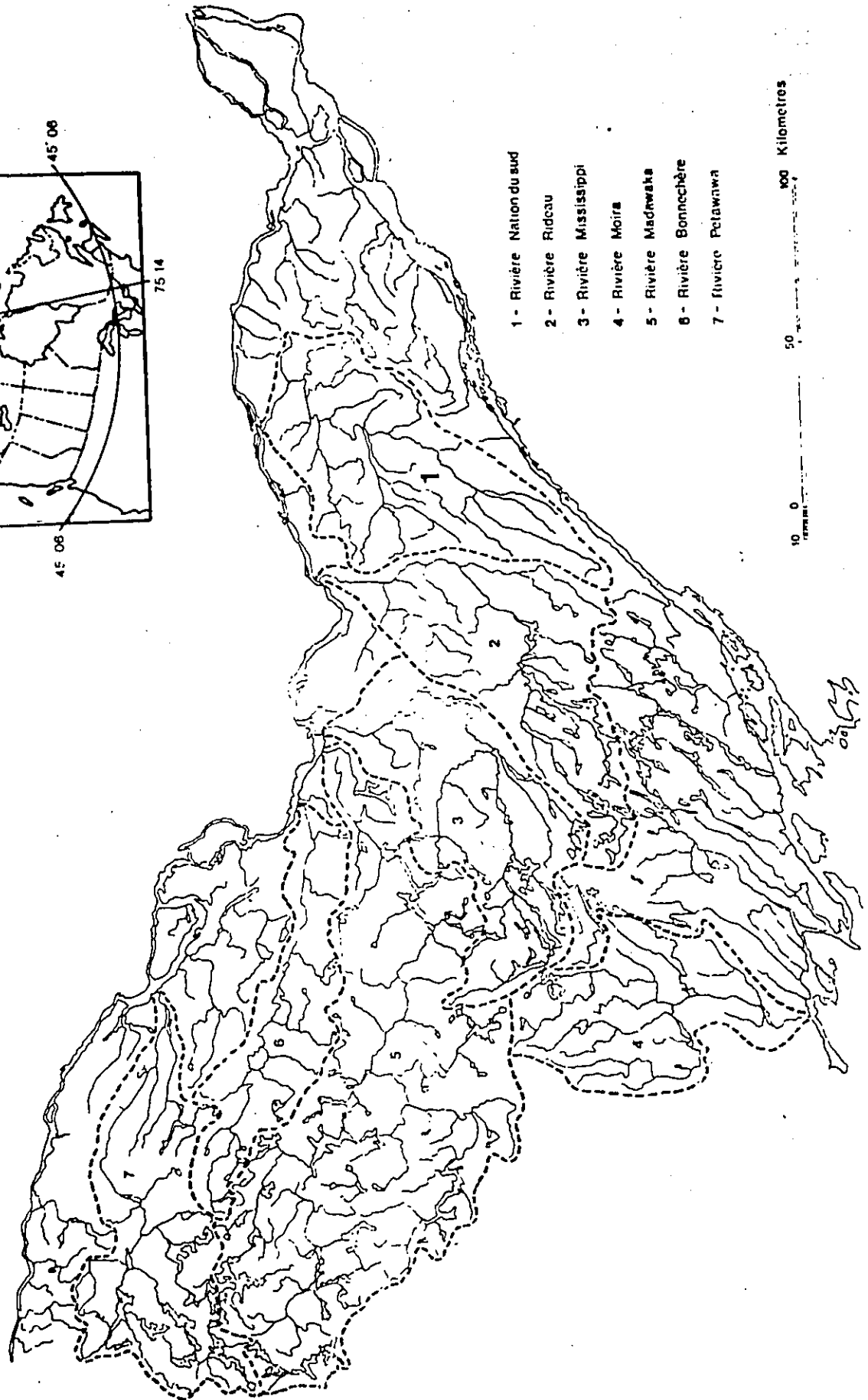
et du fleuve Saint-Laurent. Couvrant une superficie de 3 810 km², la rivière prend sa source au nord-est de Brockville pour se déverser au nord près de Wendover dans la rivière Outaouais. La forme du bassin versant s'apparente à une poire où la partie nord est beaucoup plus large (80 km) que la partie sud (25 km). Les coordonnées du point central sont 45° 06 08 de latitude nord et de 75° 13 47 de longitude ouest. Finalement, l'axe général du drainage est orienté sud-ouest-nord-est.(Figure 1)

3.2 : HYDROGRAPHIE

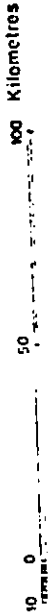
Le réseau hydrographique est de type dendritique très commun dans la région des basses terres du Saint-Laurent. Ses principaux affluents sont les rivières Bearbrook, Horse, Scotch et Castor. Sur l'ensemble du territoire, il n'y a qu'un seul lac situé en amont de Spencerville. Par contre, le faible relief favorise la formation de tourbières très importantes, citons comme exemples celles d'Alfred, Mer Bleue, Winchester et Moose Creek. Ces bassins de rétention d'eau sont par contre tous situés à la tête de certains affluents et sont souvent drainés de façon artificielle pour fin d'exploitation (Alfred) ce qui favorise une évacuation rapide de l'eau. Pour celles non exploitées les systèmes de drainages favorisent une évacuation dans des affluents de d'autres bassins hydrographiques (Winchester et Moose Creek).



**BASSINS HYDROGRAPHIQUES
DE L'EST ONTARIEN**
CARTE:1



- 1 - Rivière Nation du sud
- 2 - Rivière Rideau
- 3 - Rivière Mississippi
- 4 - Rivière Moira
- 5 - Rivière Madawaka
- 6 - Rivière Bonnechère
- 7 - Rivière Petawawa

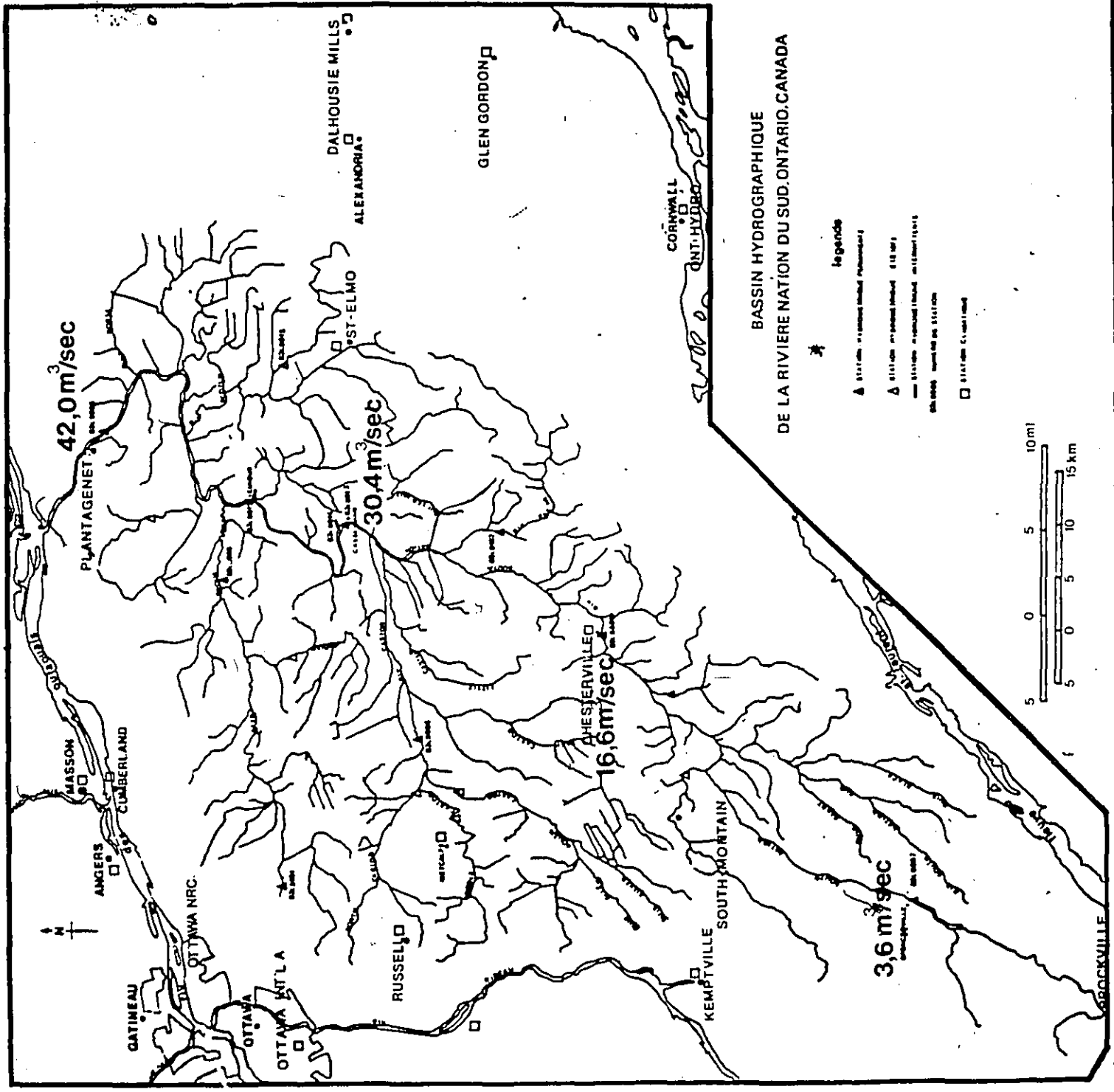


CARTE DE LOCALISATION

Leur effet est donc négligeable.

Nous avons représenté pour les stations de Plantagenêt et de Chesterville, les graphiques de distribution des débits journaliers maximums (Annexe I). La première station étant située à l'exutoire et la deuxième à 70 km en amont, les distributions des débits de pointe nous ont permis d'évaluer le temps de réponse entre la partie sud et la partie nord. Les deux graphiques montrent très bien le synchronisme de l'écoulement, les maximums se produisant pour les deux stations le 92^{ème} jour de l'année. Ces moyennes ont été compilées pour une période s'étalant de 1950 à 1982. Alors, même si ce bassin versant draine un territoire relativement vaste, le type de réseau et l'important système de drainage favorisent l'évacuation rapide des eaux.

En ce qui concerne la part de contribution de chacun des sous-bassins, les données recueillies à chacune des stations nous ont démontré que la partie sud du bassin contribue deux fois moins que la partie nord. Les moyennes de l'écoulement étant de 3.6 m³/sec pour Spencerville, de 16.6 m³/sec pour Chesterville, de 30.4 m³/sec pour Casselman et finalement de 42.0 m³/sec pour Plantagenêt. Cette distribution des moyennes de l'écoulement s'explique par l'importance du territoire drainé par les affluents situés dans la partie nord ouest du bassin (Bear Brook, Castor et Indian) (Figure 3). La contribution étant



beaucoup plus importante dans la partie située près de l'exutoire; le temps de réponse devient alors beaucoup plus rapide car près de 60% du territoire drainé se situe à cet endroit.

Nous tenons à mentionner que le débit est régularisé à Plantagenêt par la présence de plusieurs barrages en amont. Toutefois, ceux-ci ne gênent en rien notre étude, car ils n'ont pour but que de maintenir la rivière à un niveau plus élevé pendant la période estivale. En effet leur architecture ne favorisent qu'un emmagasinement lors de la période de basse eau, les surplus sont directement évacués.

3.3 : CLIMAT

Cette région fait partie de la zone climatique Dfb correspondant au type tempéré froid sans saison sèche de Köppen. Les normales mensuelles des températures, pour Chesterville sont de l'ordre de -11 degrés celsius en janvier et de 20.5 degrés celsius en juillet. Les moyennes des précipitations mensuelles pour la période à l'étude (1971-82) à Chesterville (Tableau I) sont plus importantes pour les mois d'août et décembre et plus faibles pour les mois de janvier et février. Puisque les régimes de précipitations mensuelles représentent la fourniture d'eau (l'intrant), un histogramme mensuel fut construit pour chacune des années. Le lecteur les retrouvera en annexe (II.a-.j).

TABLEAU I	
Moyenne des précipitations mensuelles en millimètres pour les années 1971-82	
Janvier	: 71.0
Février	: 71.6
Mars	: 89.7
Avril	: 73.3
Mai	: 84.9
Juin	: 95.7
Juillet	: 92.5
Août	: 108.4
Septembre	: 96.9
Octobre	: 81.2
Novembre	: 81.8
Décembre	: 100.2

Pendant la période considérée, le total annuel de précipitations a varié de 650 mm (1975) à 885 mm (1972). En ce qui concerne les précipitations hivernales, elles varient entre un minimum de 100 cm en 1979 et un maximum de 226 cm en 1974. (Annexe III).

Au niveau synoptique, l'ensemble du bassin subit l'influence des systèmes dépressionnaires provenant pour la majeure partie des cas de la région des grands lacs située au sud-ouest de cette région (Vallée du Saint-Laurent). Par contre, la partie nord est aussi influencée par les systèmes dépressionnaires provenant de la vallée de la rivière des Outaouais.

3.4 : GEOLOGIE ET DEPOTS DE SURFACE

Au point de vue structural, le bassin de la Nation Sud draine un territoire de bas relief dont l'altitude varie de 30 mètres au nord à 122 mètres au sud. La majeure partie du territoire repose sur du calcaire et de la dolomie de l'ordovicien appartenant aux formations d'Ottawa, d'Oxford et de March. La série de crêtes que constituent les affleurements rocheux que l'on y retrouve sont constituées de schistes appartenant à d'autres formations telles que celles de Queenston, Russell, Carlsbad, Rockcliffe...etc. La plus importante de ces crêtes est d'orientation nord-est sud-ouest et constitue la ligne de partage des eaux entre le Saint-Laurent et la rivière des Outaouais.

Pour l'ensemble du bassin nous retrouvons trois types de dépôts de surface d'origines différentes (BEZADA DIAZ, 1981). Au nord, dans le secteur situé entre Wendover et Casselman, nous observons une prédominance de sédiments sableux et argilo-limoneux. Ces dépôts forment les anciens chenaux de la rivière des Outaouais et datent de la période suivant le retrait de la mer de Champlain (10,200 ans) . Nous observons par contre, au sud de Wendover un îlot à relief plus élevé constitué d'argile grise et de limon mis en place par la mer de Champlain.

D'autre part, au sud, de Casselman jusqu'à Brockville situé sur la limite du bassin hydrographique, il y a prédominance de dépôts d'origine marine. Dans la partie nord nous retrouvons des dépôts marins d'eau profonde qui sont de granulométrie très fine (argile grise, limon et argile limoneuse). Dans la partie sud, les dépôts sont de constitution beaucoup plus grossière et correspondent à une sédimentation en eau peu profonde (sable et gravier). Ces deux types de sédiments sont caractérisés par une présence abondante de fossiles marins.

Pour terminer, nous observons sur l'ensemble du bassin, des dépôts fluvio-glaciaires composés de sable et gravier (stratifiés) et d'origine glaciaire (till).

Le passage d'un type de dépôt à un autre se reflète par le type d'écoulement de la rivière. En effet, dans la partie située au sud de Casselman, la rivière s'écoule de façon beaucoup plus rectiligne que dans la partie nord où elle a tendance à former d'importants méandres.

3.5 : CONCLUSION

Le bassin de la rivière Nation du Sud est donc un banc d'essai privilégié pour notre type d'analyse. En plus de nous fournir une gamme impressionnante d'informations, ce bassin par son type de réseau hydrographique, minimise les temps de retard

ce qui nous permet d'envisager une meilleure relation climat-débit.

Dans le chapitre suivant, nous reprenons les informations hydrologiques et climatiques de cette région afin d'élaborer les matrices de données de chacune des années.

CHAPITRE IV

TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Dans une première étape, nous avons constitué une matrice de données brutes nous permettant de reproduire de façon quantitative les conditions climatiques de surface. Pour ce faire, nous avons consulté les archives informatisées des données climatiques canadiennes (surface) du Service de l'Environnement Atmosphérique du Centre Climatique Canadien. Après avoir examiné l'ensemble des éléments, nous en avons extrait les variables jugées les plus utiles. Puisque l'on s'intéresse aux régimes hydrologiques annuels, une échelle temporelle journalière nous est parue la plus satisfaisante. De toute façon les données climatiques et hydrologiques ne nous permettaient pas d'envisager l'utilisation d'une échelle plus précise.

Nous avons retenu les variables suivantes : Température maximale et minimale, les précipitations totales journalières, l'enneigement, la radiation globale, la quantité de neige au sol et la pression maximale et minimale.

Nous tenons cependant à souligner que, pour les quinze stations climatiques couvrant le bassin, plusieurs d'entre elles avaient soit fonctionné de façon sporadique ou bien certaines séquences comportaient plusieurs données manquantes. Cette situation nous a donc obligé à faire une certaine sélection parmi les

stations. Etant donné la superficie du bassin versant (3 810 km²), il était impossible de refléter les conditions climatiques à partir d'une seule station. Aussi, nous avons donc cherché une série d'années où nous avions des enregistrements continus et un nombre suffisant de stations pour représenter du mieux possible les conditions moyennes du climat pour l'ensemble du bassin. A partir d'un examen des années disponibles pour chacune des stations, nous avons alors sélectionné la période de 1972 à 1982. Celle-ci nous offrait l'ensemble des informations nécessaires à notre étude et ce pour onze stations climatiques situées à différents endroits : Chesterville, Cornwall Ont Hydro, Ottawa Int'l A, Ottawa NRC, Kemptville, South-Mountain, Brockville, Russell, St-Elmo, Dalhousie Mills et Glen Gorden (Figure 3).

Pour l'écoulement, nous avons consulté les archives informatisées des données hydrologiques canadiennes de la Direction Générale des Eaux Intérieures (Ministère de l'Environnement). De l'ensemble des types d'informations disponibles nous avons extrait les données journalières de l'écoulement pour la station située à l'exutoire du bassin de la Nation du Sud (Plantagenet no : 02LB005)."

En ce qui concerne les données hydrologiques, le problème des données manquantes ne se posait pas et nous avions à notre disposition une séquence de 35 années couvrant la période de 1949 à 1983. On ne pouvait logiquement débiter l'année le 1^{er} janvier car on découpait ainsi en deux la période d'accumulation d'eau (neige). De façon à pouvoir remédier à ce problème nous avons opté pour une coupure estivale, c'est-à-dire pendant la période d'étiage où la fourniture en eaux est davantage reliée à la compétence de la nappe phréatique. Nous avons donc choisi le 1^{er} août qui est la date la plus couramment utilisée pour débiter l'année hydrologique.

Nous avons donc fixé la période à l'étude du 1^{er} août 1972 au 31 juillet 1982. Ce qui nous fait dix années hydrologiques consécutives.

Dans un deuxième temps, l'utilisation de la procédure *PE-GASE* nous demandait une réorganisation des données brutes. En effet, chacune des variables traitées devaient faire l'objet d'une transformation en intervalles de classe. Chacune des variables fut traitée individuellement à l'aide d'une analyse univariée. Pour l'ensemble des variables, les résultats obtenus nous ont permis d'établir divers intervalles de classe nous permettant d'en arriver aux distributions les plus représentatives de la réalité. De plus, pour certaines des variables, nous avons opté pour l'utilisation d'intervalles représentant des seuils

intéressants pour ce genre d'étude. Ceux-ci furent surtout utilisés pour signaler des changements d'états connus a priori. Citons comme exemple les classes représentant les hautes et les basses pressions.

Dans ce chapitre, nous discuterons de l'utilité de chacune des variables, de leurs caractéristiques et des intervalles de classes choisis.(2)

4.1 : Variable dépendante

L'examen des courbes de l'écoulement et des analyses univariées nous a permis d'établir cinq intervalles de classes pouvant le mieux représenter les différents types d'écoulement.

TABLEAU II	
Variable dépendante Débit en mètres cubes par seconde	
classe	type d'écoulement
0-5	basses eaux
5-10	écoulements faibles
10-30	écoulements moyens
30-100	faibles crues
100-plus	fortes crues

Chacune des nouvelles distributions est représentée en annexe II et permet d'évaluer les différents types d'écoulement pendant

2."Un tableau résumé de l'ensemble des classes choisies pour chacune des variables est à la disposition du lecteur à l'Annexe IV

la période étudiée.

En plus, chacune des classes par sa fréquence nous permet au départ d'évaluer l'intensité de l'écoulement annuel. En effet, face aux différents types de régimes hydrologiques saisonniers, la classe de 0-5 m³/sec regroupe les débits de faible étiage d'été, alors que la classe de 5-10 m³/sec représente les débits des faible étiage d'hiver et/ou d'étiage moyen d'été. La classe 10-30 m³/sec correspond aux forts étiages d'hiver. Les deux autres classes représentent respectivement la crue d'automne et celle du printemps.

Ce choix d'intervalle nous satisfait dans le sens où il nous permet de très bien diviser les types d'écoulement (en terme d'intensité) pour chacun des régimes hydrologiques annuels. En plus, chacun des intervalles correspond à un type d'écoulement particulier. Par contre cette classification ne tient aucunement compte de l'aspect temporel de ces différents régimes qui, par définition, correspondent à une succession plus ou moins longue de jours. Alors de façon à introduire un certain aspect temporel nous avons instauré une variable représentant la tendance de l'écoulement.

4.2 : Variable DEBAUTO

De façon à tenir compte de l'aspect séquentiel de la variable dépendante, nous avons créé une variable indépendante qui nous permet d'introduire une certaine forme d'auto-corrélation temporelle. Nous avons nommé cette variable *DEBAUTO* et représenté la tendance de l'écoulement par rapport à la journée précédente. Pour ce faire, nous avons comparé la donnée brute de l'écoulement de chacune des journées à celle de la journée précédente. Nous tenons à spécifier que les données brutes avaient été préalablement transformées en nombres entiers. Cette variable comporte trois classes qui déterminent les états de croissance (CRO), de décroissance (DEC) et de stabilité (STA).

En imposant pour chacune des années une redistribution des classes du débit en tendances de l'écoulement, nous espérons ainsi faire intervenir la notion de régime hydrologique saisonnier. Cette variable composera donc le premier palier de division pour chacune des analyses. Son efficacité sera exprimée par le niveau de contribution de chacune de ses classes.

4.3 : Variables climatiques:

4.3.1 : Températures

Mentionnons que les données de température proviennent de la station climatique de Chesterville, située au centre du bassin

hydrographique (Figure 1). Nous n'avons pas employé une moyenne régionale car les variations spatiales étaient très minimes.

Parmi les sept variables que nous avons choisies, nous débuterons avec la température maximale. Les résultats d'une analyse univariée nous ont démontré que pour ce phénomène saisonnier l'établissement de six classes serait préférable.

TABLEAU III	
TEMPMAX en ° celsius	
classe	intervalle
FRO	moins à -13
FRA	-13 à -3
DEG	-3 à 3
CHA	3 à 14
CHB	14 à 25
CHC	25 et plus

L'utilisation de ces intervalles nous permet de bien isoler les trois principaux aspects des impacts correspondant à cette variable. En effet, la saison hivernale est représentée par les classes (FRO et FRA), alors que la saison estivale est regroupée dans les classes (CHA, CHB et CHC). Finalement la classe (DEG) délimite la période de fonte du couvert nival (printemps) et la saison automnale. Ce classement nous permet de très bien contrôler l'importance des températures face à sa contribution de l'intrant.

En ce qui concerne les températures minimales, le même nombre de classes a été utilisé. Par contre, contrairement à la température maximum, qui est par définition plus élevée, nous avons utilisé trois classes pour les températures froides et seulement deux classes pour les températures supérieures à 3 degrés Celsius. Mais nous conservons la classe DEG telle quelle. Voici les classes pour cette variable:

TABLEAU IV	
TEMPMIN en ° celsius	
classe	intervalle
FRO	moins à -27
FRA	-27 à -13
FRE	-13 à -3
DEG	-3 à 3
CHA	3 à 14
CHB	14 et plus

En plus de ces deux variables, nous avons aussi compilé l'amplitude de température de chacune des journées. Cette information nous permet de mieux spécifier les périodes de fonte et de gel du reste de l'année. En se basant là aussi sur une analyse univariée, cinq classes furent établies:

TABLEAU V	
TEMPAMP en °celsius	
classe	intervalle
AAA	0 à 2.5
BBB	2.5 à 10
CCC	10 à 15
DDD	15 à 20
EEE	20 et plus

4.3.2 : Précipitations

En ce qui a trait aux précipitations, puisqu'il s'agit d'un phénomène ponctuel et souvent réparti de façon hétérogène, nous avons d'abord étudié attentivement la répartition spatiale de ce phénomène.

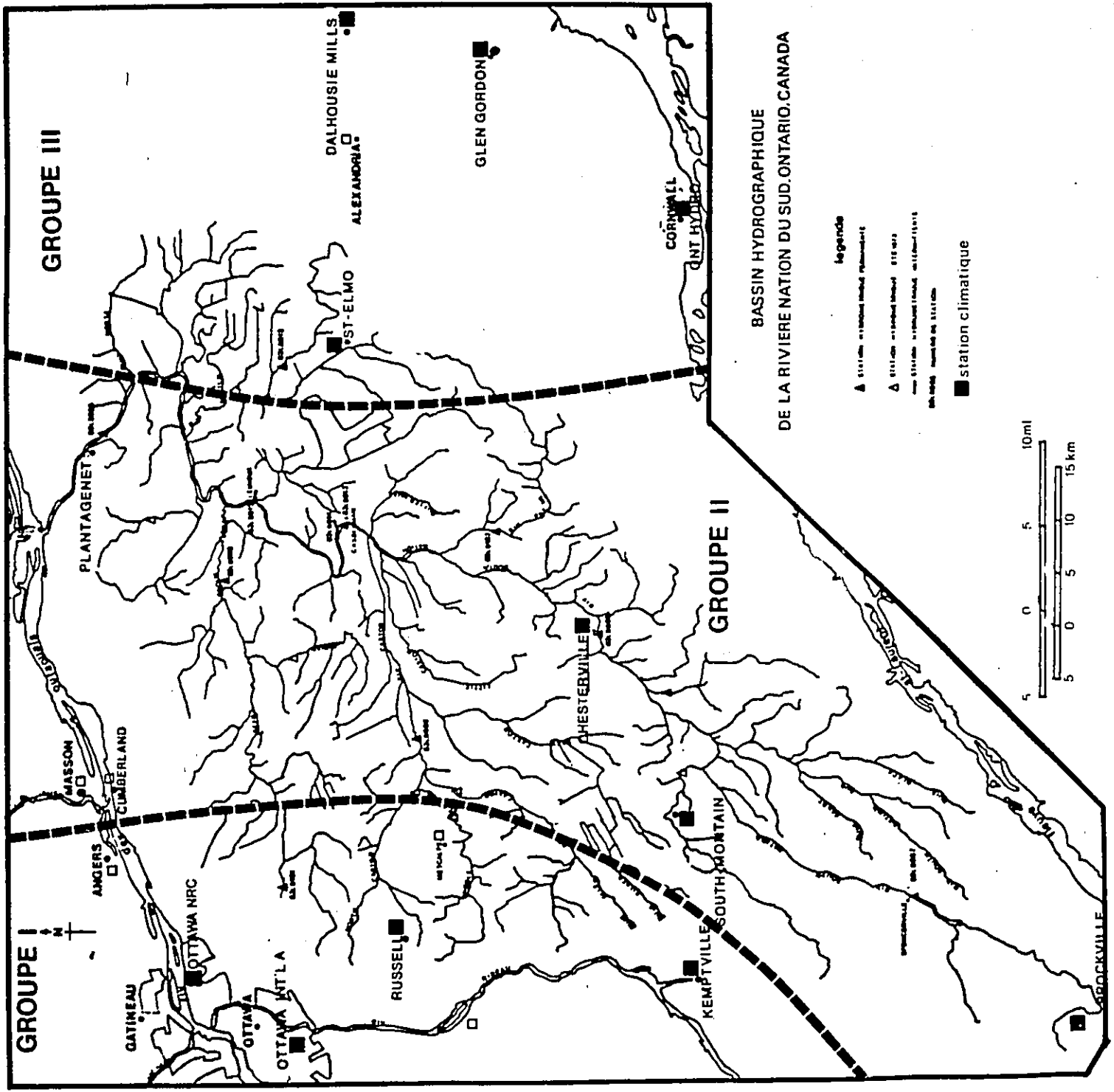
Dans une première étape, nous avons formé une matrice de données composée des relevés de pluie pour les dix stations climatiques mentionnées au début. Les résultats d'une analyse de regroupement (Méthode du centroïde) nous ont fait constater que l'ensemble des dix stations se divisait en trois groupes répartis sur un axe orienté de façon est-ouest parallèle à la rivière Nation du Sud. Donc en terme de répartition spatiale les précipitations de pluies formaient trois zones où la quantité d'eau reçue était différente. Ces trois groupes étaient subdi-

visés de la façon suivante: (voir figure 4)

TABLEAU VI
Groupe de stations climatiques
Groupe I : Ottawa Int'l A Kempville Russell NRC
Groupe II : Brockville PCC South Mountain Chesterville
Groupe III : Cornwall Ont Hydro St-Elmo Dalhousie Mills Glen Gordon

De façon à pouvoir représenter les précipitations moyennes des pluies, nous avons ensuite effectué une analyse discriminante (Jennrich, 1979) afin de vérifier l'exactitude du regroupement et d'en ressortir la station typique de chacun des groupes.

Cette analyse a fait ressortir qu'avec les trois stations suivantes, Ottawa Int'l, Dalhousie Mills et Chesterville, nous pouvons représenter fidèlement la répartition spatiale des pluies. Puisque la variable que nous voulions créer se devait d'être annuelle, nous avons alors calculé la moyenne des précipitations annuelles pour les trois stations. Le fait d'inclure les précipitations neigeuses ne change en rien la validité de la nouvelle variable, en ce qui concerne les pluies d'été.



Les précipitations étant la source de l'intrant, nous avons décidé de représenter ce phénomène de trois façons différentes.

D'abord pour chacune des années, nous avons créé une variable de type absence/présence (ABS/PRE) que nous avons appelée *precpluie*. Cette variable nous sert à identifier les événements pluviométriques. Puisque cette variable ne tient pas compte de l'effet répétitif de certaines précipitations, et que celles-ci sont beaucoup plus influentes sur l'écoulement que les événements isolés, nous avons alors établi une variable de type cumulé. Cette dernière (*precpcu*) comportera autant de classes que de jours consécutifs ayant des précipitations supérieures à 0.1 mm. Pour les dix années retenues le maximum est de onze jours en 1979-80.

Pour terminer, nous avons également classé la variable des précipitations annuelles en cinq intervalles représentant la quantité d'eau reçue par le bassin. Cette classification nous permet d'introduire la notion d'intensité des précipitations. C'est-à-dire la quantité d'eau reçue en millimètres par jour. Les intervalles de classes pour *precclass* ont été établis à l'aide d'une analyse univariée.

TABLEAU VII	
Precclass en millimètres	
classe	intervalle
NUL	0.0
PEU	1 à 20
MOY	20 à 50
FOR	50 à 100
TRF	100 et plus

L'avantage de ces trois variables est qu'elles nous permettent d'introduire, et ce pour un même événement, trois niveaux de contribution très importants : la présence ou l'absence d'apport en eau, la durée et l'intensité.

4.3.3 : Neige au sol

Parmi les autres informations disponibles, nous avons aussi incorporé les données sur la quantité de neige au sol. Cette variable nous paraît très importante. Elle nous sert à isoler la saison hivernale des autres et de tenir compte du stockage d'eau sous forme de neige.

Par contre, l'information dont nous disposions nous parvenait de la station située à l'Aéroport International d'Ottawa. Etant relativement éloignée du bassin, nous avons d'abord examiné la

représentativité de cette station. La construction des courbes des précipitations nivales totales pour les années 1973-83 nous a permis de comparer la station d'Ottawa Int'l A à celle de Cherterville (annexe III). Les deux courbes laissent voir une homogénéité des précipitations pour les deux sites. Cette similitude nous permet de considérer les données Ottawa Int'l A comme étant représentatives des conditions nivales de notre bassin. Car recevant à peu près la même quantité de précipitations neigeuses, l'épaisseur du couvert nival y est du même ordre. D'autant plus que la transformation des données brutes en nominale, diminue l'importance des écarts.

Afin de bien contrôler les fluctuations du couvert nival nous avons opté pour l'utilisation de six intervalles de classes:

TABLEAU VIII	
Neigesol en centimètres	
classe	intervalle
NUL	0.0
PRE	1 à 10
DEU	10 à 20
TRI	20 à 30
QUA	30 à 40
CIN	40 et plus

Cette classification nous permet de séparer l'été des autres saisons (classe NUL = été).

4.3.4 : Pression atmosphérique

La station d'Ottawa Int'l A nous offrait aussi les données horaires des pressions maximums et minimums. Puisque notre étude possède un cadre temporel journalier, nous avons d'abord calculé la moyenne journalière pour chacune d'elles. Ensuite nous avons établi pour la pression maximale quatre intervalles basés sur les seuils utilisés pour déterminer les hautes pressions des basses pressions.

TABLEAU IX	
Presmax en kilopascals	
classe	intervalle
BAS	98.0 à 101.42
INT	101.43 à 101.92
INP	101.93 à 102.41
HAU	102.42 à 105.00

Une analyse univariée nous a montré la nécessité de diviser en deux classes les pressions intermédiaires car plus de la moitié des jours se distribuait dans cet intervalle. Cette variable nous permet de contrôler les régimes des précipitations

et d'obtenir une vue synoptique de l'état de l'atmosphère.

Nous n'avons pas utilisé la pression minimale car elle n'apportait aucune information. Par contre nous avons calculé l'amplitude journalière de la pression pour mieux estimer la stabilité des systèmes dépressionnaires. En d'autres termes, elle nous informe sur la succession des systèmes car elle représente les fluctuations journalières. Voici les intervalles de classes qui la compose:

TABLEAU X	
Pressamp en Kilopascals	
classe	intervalle
AAA	0.00 à 0.24
BBB	0.24 à 1.30
CCC	1.30 à 1.90
DDD	1.90 et plus

Une faible amplitude signifie une stabilité de la pression, tandis qu'une forte amplitude nous indique un changement brutal de pression.

4.3.5 : Ennuagement

Afin de pouvoir mieux évaluer les systèmes dépressionnaires et les événements pluviométriques, nous avons décidé d'introduire une variable quantifiant le degré d'ennuagement. Les données se présentaient sous forme horaire que nous avons sommées pour obtenir une donnée journalière. La valeur 0 représente l'absence de nuage alors que la valeur 240 signifie un ennuagement total pour la journée. Cette variable fut classée selon les intervalles suivant:

TABLEAU XI	
Nuage	
classe	intervalle
NUA	0 à 48
NUB	48 à 96
NUC	96 à 192
NUD	192 et plus

Finalement la dernière variable que nous avons utilisée reflète l'énergie calorifique disponible.

4.3.6 : Radiation globale

Nous avons décidé d'inclure à notre matrice les données sur la radiation globale qui nous étaient fournies par la station

Ottawa NRC. Ce type d'information nous paraît très intéressant, puisqu'il nous permet de contrôler la variable d'enneigement et introduire la notion d'énergie d'ablation disponible. Cet aspect nous sera surtout utile pour la compréhension des débuts de crue de printemps et de leur évolution. De plus, l'ablation est le principal agent des événements d'augmentation de l'écoulement pendant la période hivernale.

La radiation globale n'étant enregistrée que pendant la période diurne, nous avons donc sommé seulement les données comprises entre 10 heures et 16 heures. La donnée journalière représente alors la quantité totale de radiation globale pour une période de 6 heures. Comme pour la plupart des autres variables, nous avons utilisé une analyse univariée afin d'établir les intervalles de classes que voici:

TABLEAU XII	
Radiagio en mégajoules par mètre carré	
classe	intervalle
UNA	0 à 5
DEU	5 à 10
TRO	10 à 15
QUA	15 et plus

La classe UNA représente les journées à faible radiation et QUA les journées à forte radiation.

A l'aide de ces onzes variables climatiques, nous croyons être en mesure de bien saisir les conditions atmosphériques de surface qui ont influencé le bassin. Les types d'intervalles utilisés sont essentiellement axés sur la représentation de conditions synoptiques journalières qui nous permettent d'évaluer le rôle du climat face à l'évolution temporelle des types d'écoulement.

L'ensemble des variables représente les conditions climatiques pouvant nous permettre de mieux comprendre les périodes d'apport en eau, de celles de libération d'eau ainsi que les phases de stabilité. De plus, l'effet de continuité temporelle de l'une ou l'autre de ces périodes nous permet d'introduire la notion de régime climatique. Cette échelle saisonnière nous offre la possibilité de mieux saisir la relation entre un certain régime climatique et un régime d'écoulement.

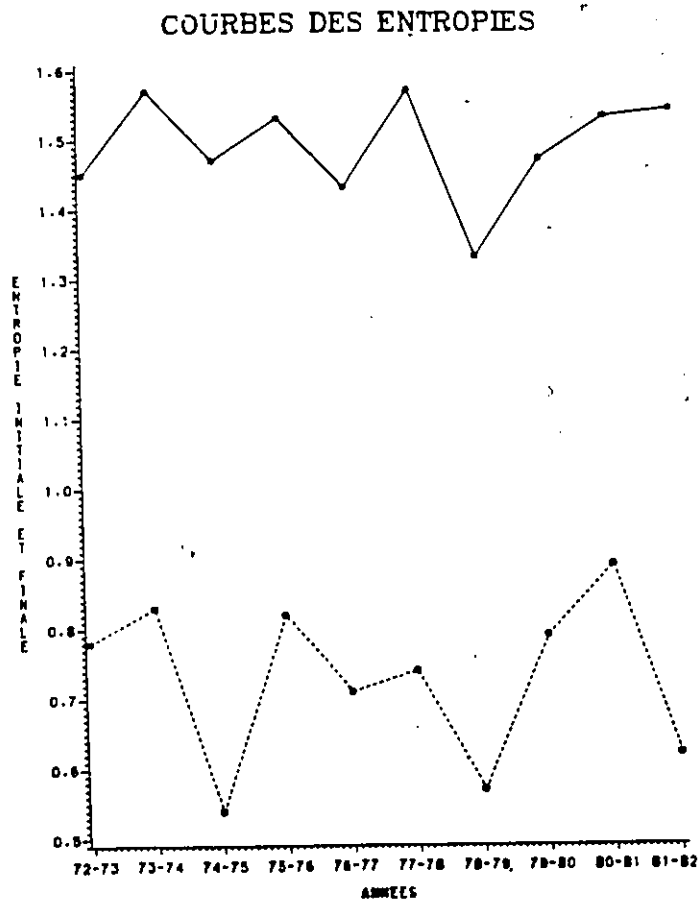
Le chapitre suivant sera essentiellement axé sur les résultats obtenus à la suite de notre analyse et sur l'efficacité de chacune des variables que nous avons introduites.

CHAPITRE V

RESULTATS

Nous débuterons l'analyse des résultats par un examen de la variation des entropies initiales pour l'ensemble des années, c'est-à-dire de 1972-73 à 1981-82 que nous avons représentées par la courbe continue de la figure 5. Pour chacune des années l'en-

Figure 5

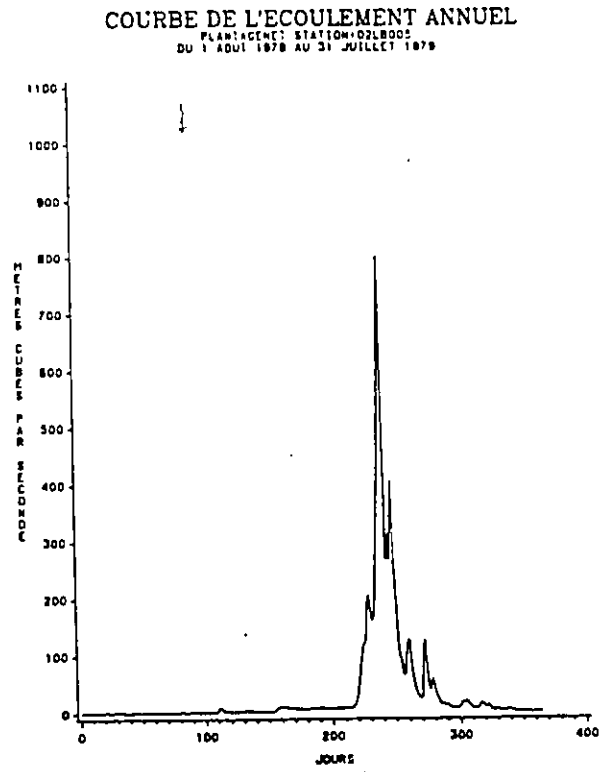
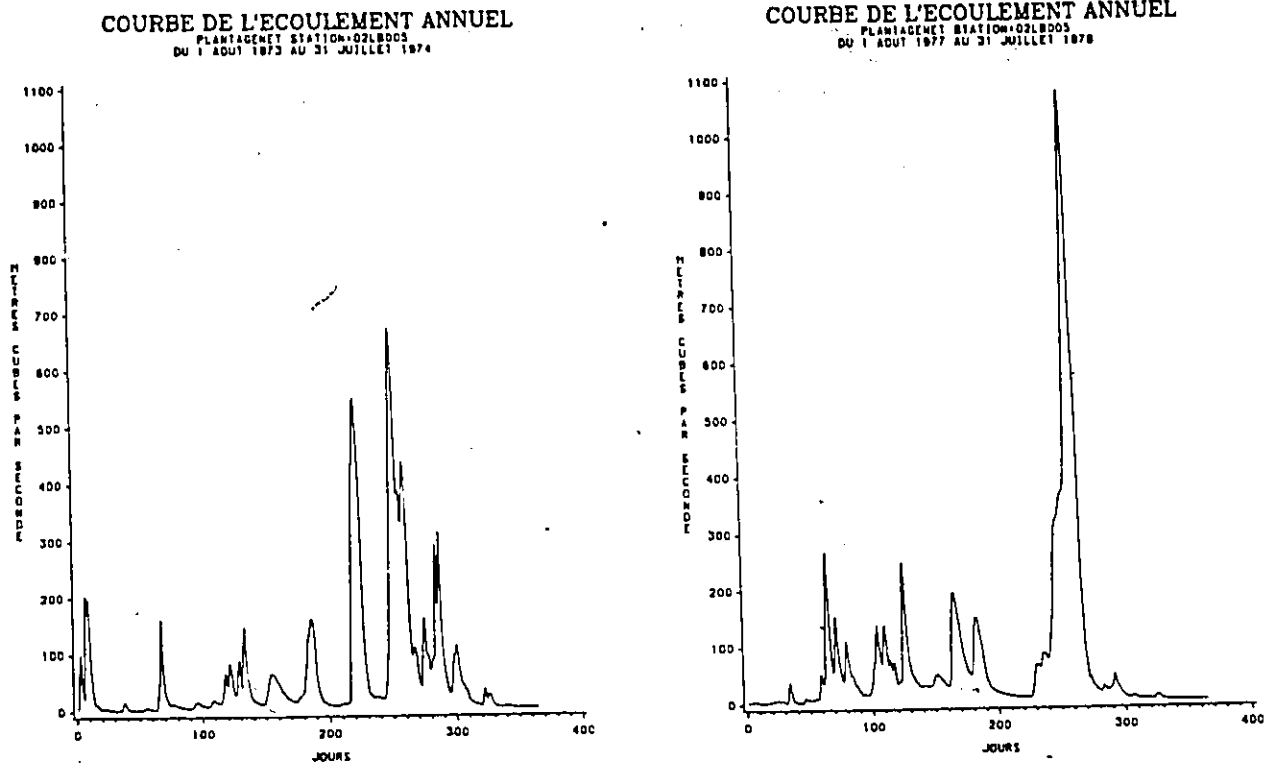


entropie maximale théorique est de l'ordre de 1,61, ce qui représente une distribution de départ où chacune des classes de débit est équi-probable (20%). Dans notre cas, la valeur maximum pour l'entropie initiale est de 1,57 pour les années 1973-74 et 1977-78, tandis que la valeur minimum obtenue est de 1,33 pour l'année 1978-79. L'écart entre les entropies initiales $H(1)$ étant de 0,24. Quoique minime, cette différence devient très significative lorsque l'on reconsidère les régimes annuels correspondant à chacune de ces années (Figure 6).

En effet, pour 1978-79 où $H(1)$ est minimale, nous remarquons sur la figure 6 un écoulement où les deux périodes d'étiage sont très bien définies, une absence de crue d'automne et finalement une crue principale moyennement marquée, avec un débit maximum de 827 m³/sec. En terme climatique ce type d'écoulement annuel est caractérisé par une seule période où l'intrant affecte le comportement du sortant (printemps).

Par opposition, les années 1973-74 et 1977-78 où l'on obtient une valeur de $H(1)$ beaucoup plus forte (1,57), ces deux années reflètent des situations complètement différentes car celles-ci sont caractérisées par des apports d'eau très fréquents représentés par les nombreuses fluctuations de l'intensité de l'écoulement.

FIGURE 6



De plus, même en ayant des $H(1)$ identiques l'année 1973-74 reflète un régime d'écoulement annuel très différent de l'année 1977-78. La première année (1973-74) étant marquée par des régimes saisonniers instables et par une crue principale a deux événements de croissance où le débit maximum est de faible intensité ($670 \text{ m}^3/\text{sec}$). Tandis que l'année 1977-78, représente un écoulement annuel où l'étiage d'été est peu perturbé, la crue printanière est de forte intensité ($1100 \text{ m}^3/\text{sec}$), et contrairement à 1973-74 la crue d'automne est beaucoup plus importante. Ce type d'écoulement annuel (1977-78) est attribuable à un été composé de quelques événements pluviométriques importants, d'un automne à précipitations très importantes et finalement d'un hiver tardif et de courte durée.

Ainsi, une égalité de l'entropie initiale n'implique en aucun cas des régimes hydrologiques annuels semblables.

Les autres années possèdent des entropies initiales oscillant entre 1,57 et 1,33. Sur l'ensemble de la période, en plus des années 1973-74 et 1977-78, beaucoup d'autres années ont des entropies initiales similaires. Ainsi 1974-75 et 1979-80 ont une $H(1)$ de 1,47, 1975-76 et 1980-81 ont une $H(1)$ de 1,53 et finalement 1980-81 et 1981-82 ont une $H(1)$ presque égale soit 1,53 et 1,54. Il sera alors intéressant de voir comment la procédure distinguera les différents écoulements annuels.

Nous avons aussi représenté sur la figure 5 en pointillés la courbe de l'entropie finale $H(f)$ pour chacune des années. Le fait qu'elle ne soit pas parallèle à celle de $H(i)$ nous indique que la levée d'entropie est différente pour chacune des années. Nous ne pouvons comparer les $H(f)$ d'une année à l'autre puisque les $H(i)$ ne sont pas égales. Nous utiliserons alors à des fins comparatives la néguentropie réelle de chacune des années. Exprimée sous forme de pourcentage, la néguentropie réelle représente la réduction de l'entropie initiale. Cette valeur reflète la puissance des liens ou, autrement dit, le niveau d'interrelation existant entre les régimes climatiques et les régimes de l'écoulement.

Pour l'ensemble des dix années, nous avons représenté dans le Tableau XIII le pourcentage de la néguentropie réelle. Celle-ci varie de 62,94 % pour 1974-75 à 41,89 % pour 1980-81 ce qui donne une entropie résiduelle fluctuant entre 37,06 % et 58,11 %. La moyenne de la néguentropie pour l'ensemble de la période est de 51,08 %. En examinant les années ayant des gains de néguentropie supérieurs à la moyenne (1974-75, 1981-82, 1978-79, 1977-78), nous constatons qu'elles correspondent à des distributions initiales des classes de débit très différentes, sachant que chacun des différents types de distribution représente des régimes hydrologiques annuels différents au point de vue de l'intensité de l'écoulement. Ces résultats nous indiquent que la procédure utilisée permet de discriminer plus d'un type de relation

existant entre les variations climatiques et les tendances de l'écoulement. En examinant les courbes de l'écoulement pour chacune de ces années, nous constatons qu'elles ont toutes un point en commun, c'est-à-dire qu'un ou plusieurs régimes saisonniers y sont très bien définis.

Un examen des fluctuations des gains de néguentropie nous indique que les liens organisationnels existant entre l'écoulement et les variations climatiques sont, sans contre dit, variables d'une années à l'autre . Nous chercherons dans l'ensemble des résultats à établir quelles sont ces variations, comment on peut les expliquer et finalement sont-elles saisonnières, annuelles ou une combinaison des deux.

Tableau XIII	
Néguentropie réelle	
années	néguentropie réelle (%)
1972-73	45.81
1973-74	47.04
1974-75	62.94
1975-76	46.68
1976-77	50.22
1977-78	53.12
1978-79	57.23
1979-80	46.19
1980-81	41.89
1981-82	59.64

5.1 : PALIERS DE DIVISION

Le type de procédure que nous avons choisi nous permet de diviser l'ensemble des 365 ou 366 jours composant une année hydrologique de façon à obtenir une série de sous-ensembles-solutions. Chacun de ces sous-ensembles est formé d'un nombre de jours ayant des caractéristiques climatiques semblables. La procédure va tout d'abord diviser l'ensemble initial en l'associant à la variable indépendante ayant le critère d'information mutuelle le plus élevé. Cette étape est alors appelée un palier de division. Par la suite, pour chacune des classes de la variable discriminée la procédure redéfinit une nouvelle distribution des classes de débit et par le fait même une association de jours pour chacun des sous-ensembles. A partir de ces nouveaux ensembles, la procédure tentera ensuite d'effectuer d'autres associations à l'aide des autres variables indépendantes. Si une nouvelle division est impossible (pas d'association), alors au palier suivant la procédure considèrera cette classe comme étant indivisible et elle formera donc un sous-ensemble-solution. Il y aura autant de paliers que de divisions possibles. Les résultats sont représentés sous la forme d'un dendogramme (Annexe V.a-k) où on y retrouve chacun des paliers. Pour plus d'information sur la procédure le lecteur est prié de se référer à PHIPPS (1979).

En examinant chacun des dendrogrammes (Annexe V.a-k) que nous avons obtenus, nous constatons en premier lieu une différence marquée en ce qui concerne les distributions initiales.

Pour l'ensemble des dix années étudiées, les distributions des classes de débit oscillent entre deux types de distribution; soit celle de type exponentiel négatif (1978-79) où près de 50 % des débits se distribuent dans la classe de 0-5 m³/sec et des pourcentages de plus en plus faibles dans les autres classes, soit une distribution de type normal (1981-82) où les classes intermédiaires sont beaucoup plus importantes (Figure 7). Cette différenciation nous indique alors une variation des régimes d'écoulement assez importante pour l'ensemble de la période.

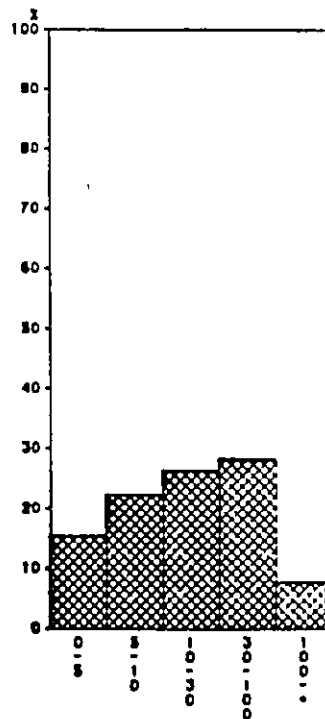
FIGURE 7

DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1978-79



DEBIT EN
METRES CUBES PAR SECONDE

DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1980-81



DEBIT EN
METRES CUBES PAR SECONDE

A l'exception de 1981-82, la variable *debauto* compose le premier palier de chacune des années. Cette variable redivise l'ensemble de l'année en trois classes correspondant aux tendances possibles de l'écoulement. Nous considérons cette division comme étant essentielle car elle nous permet au départ de diviser les jours où les débits sont stables de ceux où les débits correspondent soit à des situations d'apport d'eau (croissant) ou à des phases de retour (décroissant). Pour l'année 1981-82 *debauto* est exaequo avec la neige au sol. Cette égalité est essentiellement liée au type de distribution des classes de débits (normale) qui correspond autant à celle de la neige au sol qu'à celle de *debauto*. De façon à homogénéiser les résultats et à établir au départ la division des tendances, nous avons imposé à la procédure l'utilisation de la variable *debauto*. (3)

Le rôle du deuxième palier est aussi très constant d'une année à l'autre. Sauf pour l'année 1973-74, la discrimination des trois tendances de l'écoulement constitue une division saisonnière. En utilisant les températures ou la neige au sol, le palier regroupe les jours appartenant à des situations climatiques correspondant, pour le cas de la neige au sol, à l'été (absence de neige) et à l'hiver (présence de neige). Par contre dans le cas des température (minimale ou maximale) la division est beaucoup plus précise car les classes utilisées permettent de distinguer, en plus de l'hiver et de l'été, les périodes de gel et dégel. Le cas de 1973-74 est particulier car exceptionnelle-

3. "Une liste des variables et leurs numéros de code pour les dendrogrammes est dans l'Annexe VI "

ment pour les débits stables la variable choisie est la radiation globale. Elle oppose les journées de faible radiation (UNA, DEU) à celles de forte radiation (TRO, QUA). L'aspect particulier de cette division reflète la rareté des longues périodes de stabilité qui caractérise cette année hydrologique. En effet, en se référant à la courbe de l'écoulement de 1973-74 (Annexe IV.b), on remarque que les écoulements estival et hivernal sont constitués d'une série d'événements instables où la quantité d'eau écoulée correspond soit à des précipitations (été) ou à la fonte du couvert nival (hiver).

Les autres paliers de division permettent une spécification plus ou moins détaillée de groupes de jours à tendance hydrologique semblable. Par leur aspect continu (saison), ils nous permettent de mieux évaluer les seuils d'interaction existant entre le climat et l'hydrologie.

5.2 : Pourcentage de contribution de la variable *debauto*.

Comme nous l'avons mentionné, la variable *debauto* revêt un aspect particulier face aux autres variables puisque son rôle est essentiellement d'introduire une division basée sur les trois tendances possibles de l'écoulement en vue de pouvoir insérer l'aspect de régime hydrologique saisonnier.

Dans cette section, nous examinerons trois aspects de la contribution de cette variable. Nous commenterons d'abord les pourcentages de la contribution totale à la néguentropie de chacune des années. Ensuite, nous évaluerons l'importance de cette contribution pour chacune des tendances. En terminant nous examinerons pour laquelle des trois tendances la levée d'entropie est la plus forte. Nous déterminerons, par le fait même, quelles tendances ont le plus d'interrelation avec le climat.

Dans le tableau XIV, nous avons d'abord représenté la contribution de la variable *debauto* pour chacune des années.

Sur l'ensemble des dix années la contribution moyenne de la variable *debauto* est de 30.9 %. La part de contribution de cette variable est maximum pour l'année 1979-80 (44.11 %)(Annexe IV.h) correspondant à un écoulement annuel où les quatre régimes hydrologiques sont très bien définis en termes climatiques (saison). A l'opposé, l'année 1977-78 (Annexe IV.f) où la valeur est minimale (22.37 %), correspond à un écoulement annuel où les régimes d'étiage sont de plus courte durée et les crues beaucoup plus importantes.

TABLEAU XIV	
Pourcentage de contribution <i>DEBAUTO</i>	
années	contribution (%)
1972-73	29.60
1973-74	25.42
* 1974-75	32.19
1975-76	30.58
* 1976-77	37.41
1977-78	22.37
* 1978-79	34.12
* 1979-80	44.11
1980-81	28.87
1981-82	24.53

* - années supérieures à la moyenne.

Il semble que la puissance de levée d'entropie de cette variable soit un indicateur de l'organisation des régimes hydrologiques. Face aux distributions initiales des classes de débits, les quatre années où *debauto* apporte une contribution supérieure à la moyenne possèdent des distributions de type exponentiel négatif. Comme nous l'avons mentionné auparavant, ce type de distribution représente les années où les régimes hydrologiques saisonniers sont les mieux établis.

De façon à mieux comprendre l'importance de cette variable, nous avons représenté dans le tableau XV la contribution en pourcentage de chacune des trois classes de *debauto*.

TABLEAU XV			
Pourcentage de contribution des des classes de <i>DEBAUTO</i>			
années	CRO	STA	DEC
1972-73	19.8	24.0	8.3
1973-74	8.6	31.5	6.3
1974-75	-3.7	49.2	-2.9
1975-76	8.6	29.6	8.2
1976-77	-11.8	58.8	-7.7
1977-78	9.2	28.2	5.6
1978-79	-14.9	49.3	-20.7
1979-80	-7.0	64.7	-2.1
1980-81	6.9	29.6	7.3
1981-82	8.9	29.6	2.6

Dé toute évidence, ce sont les débits à tendance stable qui sont les mieux discriminés. Par contre, la contribution des deux autres classes (CRO-DEC) varie d'une façon inversement proportionnelle à celle de la classe des débits stables. C'est-à-dire que plus il y a de débits stables dans la classe de 0-5 m³/sec moins la contribution des deux autres classes sera importante au premier palier. Les valeurs que nous obtenons pour les années où les débits de 0-5 m³/sec (exemple 1978-79) sont fortement représentés nous indiquent que le premier palier contribue de façon négative pour les tendances de croissance et de décroissance. En terme d'entropie, une valeur de contribution négative signifie que pour les classes CRO et DEC, la division implique une augmentation de l'entropie par rapport à l'entropie

initiale. Cette augmentation provient du fait que les débits à tendances stables se distribuent à plus de 95 % dans la classe de 0-30 m³/sec. Alors pour une année où les périodes d'étiage sont importantes en terme de jours (débit stable), après division en tendances nous obtenons deux types de distribution. D'abord, pour la classe des STA une distribution d'asymétrie positive qui permet une baisse d'entropie. Pour les deux autres tendances (CRO et DEC), une distribution où il y a égale représentativité des classes du débit qui se reflète par une augmentation de l'entropie.

Alors que pour les années où les régimes d'étiage sont caractérisés par de nombreuses fluctuations (exemple 1973-74), la division des trois tendances se traduit par une spécification des classes de débit. Une intensité d'écoulement plus importante a pour effet d'augmenter l'importance des classes de 10-30 et de 30-100 m³/sec au détriment de la classe 0-5 m³/sec. On obtient pour ces années une distribution asymétrique positive pour la classe STA et asymétrique négative pour les deux autres tendances (CRO et DEC) alors que la distribution initiale des classes de débit est presque égale. Pour ce type d'écoulement annuel on assiste à une diminution de l'entropie pour chacune des trois tendances. Mais comme pour les autres années, plus les STA seront associés à la classe de débit de 0-5 m³/sec (étiage de basses eaux), plus la diminution de l'entropie sera importante pour la tendance stable (STA).

Un autre aspect de cette division en tendances est alors très intéressant. Nous avons représenté dans le tableau XVI le pourcentage de la néguentropie expliquée par les variables climatiques et ce pour chacune des tendances. Autrement dit, ces résultats représentent les liens existant entre les variables climatiques et les différentes tendances de l'écoulement. Pour chacune des années, le pourcentage de néguentropie représente la puissance des interrelations.

Tableau XVI			
Pourcentage de néguentropie des classes de <i>DEBAUTO</i>			
années	CRO	STA	DEC
1972-73	38.82	68.55	29.55
1973-74	33.71	58.31	37.89
1974-75	27.83	77.70	51.06
1975-76	45.79	44.73	30.43
1976-77	35.79	59.15	33.12
1977-78	48.89	59.91	41.21
1978-79	34.90	61.79	41.13
1979-80	24.71	46.92	31.80
1980-81	31.76	51.76	41.72
1981-82	37.29	68.82	57.07

Nous remarquons par ces résultats que les variables climatiques discriminent en général beaucoup mieux la tendance stable (STA) que celles des croissants (CRO) et des décroissants (DEC). Il devient très difficile de tirer des conclusions sur la variation des pourcentages pour l'ensemble des dix années puisque ces résultats proviennent des trois nouvelles distributions obtenues

après la division des tendances. Par contre, nous pouvons constater que les années où les distributions sont asymétriques négatives pour les tendances CRO et DEC (étiages instables), les relations climat/tendances sont beaucoup plus marquées (1977-78). En plus les années où la distribution de départ est de type exponentiel négatif la tendance STA est beaucoup mieux discriminée, ce qui s'explique par l'effet de saison qu'implique ce type de distribution (1974-75).

De même, pour la plupart des années la tendance décroissante est relativement mieux discriminée que celle de croissance. Ceci est attribuable au caractère particulier de ces deux phases. Les périodes de croissance étant des réponses instantanées et linéaires aux événements d'apport en eau, elles se produisent surtout sur de courts laps de temps (en général 1 à 2 jours sauf pour les périodes de crue). Ces périodes sont donc difficilement associables puisqu'elles ont un caractère exceptionnel. Ainsi, sauf pour les années où elles se produisent fréquemment, elles ne peuvent respecter les limites du test de signification statistique de la procédure. D'autre part les périodes de décroissance représentent un phénomène d'une durée beaucoup plus longue. Etant composées d'un plus grand nombre de jours, ces périodes sont plus facilement associables aux conditions climatiques qui les engendrent.

En résumé, nous constatons que la variable *debauto* remplit parfaitement son rôle. Le fait de diviser les débits journaliers en tendance de l'écoulement nous permet d'introduire, au premier palier, la notion de régime saisonnier. Les résultats que nous avons obtenus démontrent:

-que la division des jours en tendances discrimine les années où les régimes hydrologiques annuels sont caractérisés par beaucoup d'apport en eau de ceux dont l'apport est moins important.

-la levée d'entropie qui caractérise chacune des tendances démontre l'efficacité de cette division; plus une tendance se maintiendra plus il y aura d'associations climatiques possibles.

Pour l'ensemble des dix années, l'impact de la variable *debauto* répond parfaitement à nos attentes. Sa contribution à la néguentropie est fonction de sa possibilité de pouvoir diviser chacun des événements hydrologiques. Une forte contribution de *debauto* nous indique une organisation saisonnière de l'écoulement.

5.3 : Contribution des variables climatiques

A partir de ces nouvelles distributions, nous allons maintenant examiner la contribution des variables climatiques. Dans cette section nous porterons une attention particulière au pourcentage de contribution, à la spécification de la contribution et à la signification hydrologique de certaines divisions.

Nous avons d'abord représenté dans le tableau XVII le pourcentage de contribution de chacune des variables sur l'ensemble de la période.

En général, pour les dix années, trois variables possèdent une contribution plus importante : la température maximum, la température minimum et la neige au sol. Par contre, les résultats obtenus nous montrent que l'importance de la contribution des

Tableau XVII											
Pourcentage de contribution des variables climatiques											
années	n u a g e	r a d i a g l o	n e i g e s o l	p r e c p l u i e	p r e c p l c u	p r e c c l a s s	p r e s a m p	p r e s m a x	t e m p a m p	t e m p m a x	t e m p m i n
1972-73	4.3	4.1	8.1	0.0	4.2	3.7	1.5	7.7	4.2	9.7	23.1
1973-74	1.3	19.1	17.9	0.0	4.0	3.1	1.8	5.8	2.9	7.2	11.5
1974-75	2.3	5.0	38.1	0.0	0.0	1.7	1.9	2.9	3.4	7.1	5.5
1975-76	3.9	9.4	21.8	0.0	3.3	6.7	0.0	0.0	4.0	3.6	16.7
1976-77	0.7	1.3	10.7	2.1	1.3	6.9	4.2	0.9	3.1	4.5	27.1
1977-78	0.0	5.7	8.4	0.0	5.4	5.8	1.5	2.6	0.0	31.6	16.8
1978-79	0.0	8.6	27.0	0.0	2.6	0.8	0.8	0.0	0.7	17.0	8.4
1979-80	0.0	0.0	0.0	5.5	6.0	2.0	1.8	3.0	0.0	9.9	27.8
1980-81	14.2	4.6	13.2	0.0	0.0	1.6	2.5	1.3	3.2	20.0	10.4
1981-82	6.3	9.5	19.3	0.0	5.0	1.4	4.0	4.8	2.9	1.2	21.2

deux températures varie d'une façon inversement proportionnelle à celle de la neige au sol. Ce phénomène est attribuable à l'aspect spécifique de leur pouvoir discriminant. Sauf pour 1973-74 où la tendance stable est discriminée d'abord par la radiation globale, pour les neuf autres années, ces trois variables vont essentiellement contribuer à une division climatique saisonnière des jours. En nous référant aux figures de l'écoulement (Annexe IV.a-j), nous remarquons que les températures vont diviser les années où le régime hydrologique annuel a un caractère saisonnier (citons comme exemple 1975-80) tandis que la neige au sol va surtout contribuer pour les années où les régimes saisonniers connaissent plus de fluctuations ou sont de plus courte durée.

Par contre, les températures discriminent beaucoup mieux car elles distinguent les quatres saisons. Du fait qu'elles soient périodiques, les températures restent les meilleures indicatrices des conditions atmosphériques. Leur forte contribution nous indique que pour ces années les variations climatiques sont en grande partie le moteur d'écoulements beaucoup plus stables. Les cas opposés correspondent à des écoulements qui ne sont pas en accord avec les tendances climatiques saisonnières, c'est-à-dire que les saisons ne sont pas bien définies en termes de séquences de jours (exemples : hiver avec périodes de fonte, été avec beaucoup de précipitations) mais par contre le fait que des variables discontinues participent en plus grande partie à la

discrimination, nous indique des relations intrant/sortant beaucoup plus marquées.

L'hétérogénéité des contributions qui caractérisent les autres paliers (troisième, quatrième ...etc) montre l'aspect particulier de certains types d'événements. Contrairement aux trois autres variables, sauf exception, le reste des variables, par leur distribution, ne peuvent que discriminer des événements de courte durée ou de type répétitif. Par conséquent, elles vont plutôt servir à mieux spécifier climatiquement certains changements dans l'écoulement. Par leur aspect séquentiel, ces variables vont surtout nous indiquer les séquences climatiques responsables des régimes de crues et des périodes d'étiage.

Nous nous sommes aussi particulièrement intéressé à la contribution des trois variables de précipitation. Nous étions conscient que nous n'avions pas jusqu'à présent considéré le temps de réponse de ce type d'événement. De façon à pouvoir évaluer l'impact de ce phénomène sur l'ensemble de la période, nous avons d'abord effectué une analyse du décalage temporel. Pour chacune des années, une corrélation croisée avec décalage de + 36 jours à - 36 jours entre les données brutes du débit et celles des précipitations de pluie fut calculée. Les résultats obtenus nous ont démontré qu'il n'y avait aucun décalage pour les années où les régimes d'étiage étaient bien définis. Par contre, pour les cas contraires, il y avait effectivement un décalage de

2 jours.

L'importance de ce temps de retard fut donc testée sur deux années en particulier. Ces deux régimes annuels représentaient des situations différentes. D'abord l'année 1975-76 où la crue d'automne est très importante et où la période d'étiage d'été est bien définie. Au contraire l'année 1973-74 représente un écoulement où aucun des régimes n'est parfaitement identifiable sur une longue période. Après avoir décalé la variable dépendante (débit) de deux jours, nous avons traité les nouvelles matrices de données avec la procédure *PEGASE*.

Les nouveaux résultats nous ont montré un gain de néguentropie de 2 % pour 1975-76 et de 10 % pour 1973-74. Ces gains se concentrent essentiellement sur des événements de courte durée pendant la période estivale. Par ailleurs, au niveau de l'organisation saisonnière, l'utilisation des temps de décalage ne nous apporte pas plus d'information.

De plus, pour chacune des années nous avons également représenté un histogramme des précipitations de neige et de pluie (Annexe IV.a-j) où quelques phénomènes ont surtout retenu notre attention. D'abord, nous remarquons que pour l'année 1978-79 l'écoulement annuel est très faiblement influencé par les précipitations, sauf pour la période succédant à la crue printanière. Cette année est particulièrement intéressante car elle

nous renseigne sur le seuil d'influence des précipitations. En effet, même si pendant l'été et l'automne le bassin a reçu un apport en eau, la quantité tombée ne fut pas suffisante pour engendrer une augmentation réelle du débit. Cette stabilité du débit nous indique donc que la quantité d'eau reçue a essentiellement servi à alimenter les nappes souterraines. Ce phénomène est représenté dans le dendrogramme (Annexe V.g) par les sous-ensembles-solutions 13, 20, 25, 26.

Finalement, lorsque l'on examine le pourcentage de contribution de chacune des variables de précipitations, nous remarquons qu'elles peuvent représenter des types de discrimination basée sur l'absence ou la présence d'intrant. Ceci implique deux types de contraintes très différentes dans le sens où elles divisent les périodes de fourniture d'eau de celle des sécheresses. De plus, une bonne contribution des classes représentant la présence de précipitations en période de stabilité de l'écoulement nous informe sur le pouvoir absorbant du bassin hydrographique.

Alors un faible pourcentage de contribution de la variable *precclass* implique un écoulement où les étiages sont de faible intensité, alors que les deux autres variables vont surtout discriminer des périodes spécifiques de l'année (période où il y a instabilité de l'écoulement).

5.4 : Pourcentage de néguentropie de chacune des classes du débit.

Nous terminerons l'analyse des résultats par une comparaison des pourcentages de néguentropie de chacune des classes du débit (Tableau XVIII). De façon générale, la levée d'entropie est plus importante pour les classes fortement représentées en terme de pourcentage et correspondant à des régimes hydrologiques bien définis (étiage d'été ou d'hiver et période de crue s'étalant sur plusieurs journées). C'est-à-dire que plus les régimes sont importants en terme de jours, plus les classes de débit à laquelle ils correspondent auront un pourcentage de néguentropie élevé. Par leurs caractères instantanés, les phénomènes de courte durée ont très peu de chance d'être discriminés car ils sont peu représentés. Le pourcentage de néguentropie des classes de débit supérieur à 30 m³/sec devient un indicateur de l'importance des périodes de crues et de son évolution.

Ceci devient évident lorsque l'on compare les figures de l'écoulement des années 1978-79 et 1979-80 (Annexe IV.g et IV.h): dans le premier cas les périodes d'étiages (été et hiver) sont confinées dans les classes 0-5, 5-10 et 10-30 m³/sec et représentent 77.42 % de la néguentropie totale. Les 22 % qui restent correspondent à la crue et à la décrue. Par contre pour l'année 1979-80 où la crue d'automne est beaucoup plus importante et pour laquelle les périodes d'étiages sont confinées dans la

TABLEAU XVIII					
Pourcentage de néguentropie des classes de débit					
classes du débit en mètre cubes secondes					
années	0-5	5-10	10-30	30-100	100 et +
1972-73	22.12	15.74	14.72	20.42	27.00
1973-74	25.67	19.18	9.92	28.11	17.12
1974-75	49.35	10.53	13.97	13.73	12.42
1975-76	32.62	11.52	11.01	28.00	16.85
1976-77	54.56	8.66	10.76	14.53	11.49
1977-78	34.91	18.55	20.85	12.54	13.15
1978-79	48.09	15.51	13.82	12.79	9.78
1979-80	45.66	9.84	12.39	16.89	15.22
1980-81	25.33	21.89	18.45	17.02	17.31
1981-82	14.67	34.09	21.91	16.93	12.39

classe 0-5 m³/sec, les pourcentages, quoiqu'aussi importants pour la première classe, nous indiquent un écoulement saisonnier composé d'événements beaucoup moins stables (44.5 % de la néguentropie est concentrée à l'association de phénomènes climatiques pour les périodes de crue).

Ce phénomène est amplifié en ce qui concerne les autres types de distribution. Plus un certain type de régime saisonnier sera important, plus la classe ou les classes aux quelles ce régime correspond seront discriminées. Pour les années où les régimes saisonniers sont difficilement identifiables, à l'exception de la crue de printemps (exemple : 1972-73), les résultats nous

démontrent que la levée d'entropie est effectuée sur l'ensemble des classes.

L'ensemble des résultats démontre très bien que la procédure PEGASE nous permet de diviser une année hydrologique en séquences d'écoulements homogènes, celles-ci étant le reflet de l'organisation saisonnière de l'écoulement. De plus, les associations climatiques effectuées pour l'ensemble des années nous aident à mieux comprendre l'importance des conditions climatiques sur l'organisation hydrologique.

Nous avons vu que la classification effectuée par PEGASE est beaucoup plus efficace pour les années où les régimes d'écoulement ont un caractère saisonnier. Nous examinerons dans le chapitre suivant à quel type de régime climatique annuel correspond chacune des années.

CHAPITRE VI

Discussion des résultats

L'ensemble des résultats obtenus nous montrent qu'il existe effectivement un certain niveau de déterminisme de la part du climat sur l'organisation de l'écoulement. Nous avons dans cette étude utilisé dix régimes d'écoulement annuels dont les variations représentent très bien le niveau exceptionnel de leur évolution. En effet au point de vue temporel, sur l'ensemble de la période, chacune des années présente des particularités différentes dans les régimes d'écoulement annuel.

A l'aide des résultats obtenus, nous allons maintenant voir comment la contribution de *debauto* et des variables climatiques nous permet de mieux comprendre l'organisation des régimes hydrologiques "saisonniers".

En premier lieu, nous allons examiner la signification hydrologique de la contribution de ces variables et par la suite, nous discuterons des régimes climatiques associés à chacune des années.

6.1 : Contribution des variables indépendantes

Pour bien saisir la part de contrainte exercée par les deux types de variables indépendantes, nous avons présenté dans le tableau XIX le pourcentage de néguentropie de chacun d'eux. Nous tenons tout de même à spécifier que les pourcentages utilisés représentent la néguentropie réelle par rapport à la néguentropie finale de chacune des années.

TABLEAU XIX			
Contribution des variables indépendantes (en %)			
années	Néguentropie (%)		Néguentropie totale (%)
	debauto	climat	
1974-75	20.26	42.68	62.94
1981-82	14.63	45.01	59.64
1978-79	19.53	37.70	57.23
1977-78	11.88	41.28	53.16
1976-77	18.79	31.43	50.22
1973-74	11.95	35.09	47.04
1975-76	14.27	32.41	46.68
1979-80	20.37	25.82	46.19
1972-73	12.37	33.44	45.81
1980-81	12.09	29.80	41.89

Nous avons ordonné les années non pas chronologiquement, mais par rapport à l'importance de la néguentropie totale. Cette représentation nous permet de mieux évaluer l'importance des contributions. Nous constatons qu'il n'existe aucun lien entre le pourcentage de contribution d'un type de variable par rapport à

l'autre. Autrement dit, une contribution élevée de *Debauto* n'implique pas une faible contribution des variables climatiques.

Du point de vue de l'hydrologie, nous concluons, que la levée d'entropie pour l'ensemble des années n'est aucunement liée à la présence ou l'absence de régime saisonnier. Mais elle est plutôt associée à des organisations différentes. De plus, l'importance de la levée d'entropie n'est en aucun cas liée aux différents types de distributions de départ. Par contre, le taux de néguentropie final est directement proportionnel à la durée de certains événements hydrologiques. Ces constatations expriment très bien la complexité des relations entre l'intrant et le sortant.

Si on examine attentivement le rapport entre le pourcentage de néguentropie de *Debauto* et des variables climatiques, on observe au niveau hydrologique que plus l'intensité de l'écoulement est importante, plus les contraintes exercées par le climat sont fortes (exemple : 1981-82) et plus l'intensité de l'écoulement est faible / moins il y aura de contraintes climatiques (exemple : 1979-80). Cette observation reflète l'importance du rôle de la variable *Debauto* et le rôle tamponnant de la nappe phréatique comme régulateur du sortant face au régime des précipitations et de l'intensité de l'écoulement.

Comme nous l'avons mentionné au chapitre précédent, un pourcentage élevé de contribution de *Debauto* représente au niveau climatique une division de l'année hydrologique en régimes d'écoulements saisonniers. Ceux-ci sont, pour notre bassin, composés de deux périodes d'étiage, caractérisées par un pourcentage élevé de jours dans la classe 0-5 m³/sec et de beaucoup de débits à tendance stable. On y retrouve en plus, deux périodes de crues (printemps et automne) (exemple : 1976-77 STA : 150 jours et 1978-79 STA : 204 jours). Alors qu'un faible pourcentage de contribution correspond à une année où l'écoulement est de plus forte intensité (pourcentage plus élevé pour les classes de 10-100 m³/sec) et beaucoup moins de débits stables (1977-78 : 85 jours, 1973-74 : 72 jours). En plus s'il y a étiage, il sera associé à une intensité d'écoulement plus importante.

Il est alors évident qu'au point de vue hydrologique la division en tendances de l'écoulement discrimine les régimes hydrologiques annuels des régimes saisonniers c'est-à-dire que plus les régimes saisonniers sont bien définis (étiages et crues) plus la contribution de *debauto* est importante.

Cette constatation devient au point de vue des relations climat/débit très intéressante. En effet, du point de vue hydrologique les périodes de basses eaux sont le reflet de la compétence de la nappe phréatique. Même si le bassin reçoit des

précipitations pendant cette période) la quantité d'intrant est insuffisante pour saturer le bassin. Les pluies servent à l'alimentation des eaux souterraines qui elles alimentent, de façon progressive, le réseau drainant.

Tout ceci nous amène à conclure que pour les années où la contribution de *debauto* est importante, la discrimination des débits stables représente non pas les relations intrant/sortant mais plutôt l'importance du rôle du bassin en tant que filtre amortissant de l'écoulement. Cette notion nous permet aussi de pouvoir évaluer l'importance des seuils souvent associés aux régimes pluviaux influençant le bassin hydrographique. Dans de telles circonstances, l'écoulement exerce un certain niveau de contrainte, car plus cette situation persiste plus les contraintes de l'intrant deviennent faibles.

Au contraire, les années pour lesquelles la contribution de la variable *debauto* est peu importante l'écoulement est beaucoup plus sensible face à l'intrant. Le fait de ne pas avoir de période de basses eaux nous indique que la quantité de précipitations est suffisamment importante pour maintenir le milieu drainant près du niveau de saturation. Dans ces conditions, des pluies de moindre importance ont plus de chances d'être immédiatement évacuées. A l'opposé des fortes contributions, dans cette situation, le taux de néguentropie reflète une relation intrant/sortant où l'effet du filtre est absent.

Ces résultats nous permettent une appréciation beaucoup plus détaillée en ce qui concerne le rôle des trois variables représentant les régimes de précipitations annuelles.

Ce sont évidemment, les périodes de croissance et de décroissance qui nous permettent de mieux évaluer l'impact hydrologique des apports en eau. Pour l'ensemble des dix années, deux formes d'augmentation de l'écoulement peuvent être associées à l'évacuation des surplus d'eau. Dans un premier temps, une période de croissance brutale et de courte durée (2 à 4 jours) suivie d'une décroissance beaucoup plus progressive. Ce type de distribution est lié essentiellement aux intrants de source pluviale. Ce genre de réponse se produit l'été et définit la crue d'automne.

Nous retrouvons aussi une évacuation d'eau de forme beaucoup plus symétrique; pour celle-ci le nombre de jours de croissance est beaucoup plus important que pour la précédente, même que dans certains cas la période d'augmentation est presque égale à celle de décroissance. Ce deuxième type de distribution est apparenté à une fourniture beaucoup plus progressive en eau liée à la fonte du couvert nival et caractérise les crues printanières pour les années 1975-76, 1977-78, 1978-79 et 1981-82 et les périodes de réchauffement (fonte) pendant la saison hivernale.

L'importance de la levée d'entropie est alors fonction de la représentativité de chacune des deux distributions pour chacune des années. Etant plus importante pour les augmentations symétriques, car la discrimination des périodes de croissance est plus importante à cause du plus grand nombre de jours les composant, les pourcentages de levée d'entropie pour les CRO et les DEC deviennent alors un bon indicateur des sources d'approvisionnement en eaux (fonte ou précipitation).

Un plus fort pourcentage de néguentropie pour CRO par rapport à DEC (exemple: 1972-73 [CRO = 38.82% DEC = 29.55%], 1975-76 [CRO = 45.79% DEC = 30.43%] et 1977-78 [CRO = 48.89% DEC = 41.22%]) identifie les années où la crue de printemps est en grande partie liée au réchauffement des températures et à peu de précipitations ou à des années possédant beaucoup de périodes de fonte du couvert nival.

En résumé, un pourcentage élevé de néguentropie pour la classe des CRO est un indicateur de l'importance des périodes de fonte.

Par contre, puisqu'en automne l'importance de la crue est liée au régime de précipitations et à la condition de la nappe phréatique ce régime devient alors composé de situations difficilement associables pour la procédure et sont très mal discriminées. La même situation se produit pour les crues printanières

composées d'une série de périodes de faible croissance et décroissance, qui correspondent à des conditions climatiques de gel/dégel. Leur niveau d'association aux variables climatiques est représenté par le pourcentage élevé de négentropie de la classe DEC.

Du point de vue hydrologique, les résultats obtenus montrent que pour chacune des années le déterminisme climatique joue un rôle différent. A l'aide des informations obtenues des dendrogrammes (Annexe V.a-k) nous allons maintenant déterminer à quels types de situations climatiques correspondent les différents régimes d'écoulement.

6.2 : Régimes d'écoulements et régimes climatiques

Pour les crues printanières nous distinguons deux phases évolutives: la période de croissance du débit (crue) et la période de décroissance (décruie). Pour l'ensemble des dix années, nous pouvons identifier deux types de crue. La première correspond à une progression lente de l'intensité de l'écoulement qui se produit sur un nombre de jours relativement important. Ce type de crue est souvent accompagné d'une période de faible croissance suivie d'une décroissance pour ensuite croître de façon linéaire. La période de décruie est souvent de courte durée et selon l'importance des pluies printanières elle est suivie d'un régime d'étiage de basses eaux. Les pluies ne font que retarder

l'installation du débit d'étiage . Pour ces années la crue a un débit maximum très élevé (1975-76 [débit maximum = 1 110 m³/sec], 1977-78 [1 100 m³/sec],) . On retrouve cette situation en 1975-76, 1977-78, 1978-79 et 1981-82. Au niveau climatique, ce type de crue est représenté dans les dendrogrammes par des variables représentant une augmentation graduelle des conditions de fonte. Les classes des variables discriminantes sont soit des températures DEG et la radiation TRO et QUA et enfin l'absence de pluie. Les S.E.S sont composés d'une succession de jours qui reflètent des conditions climatiques stables.

Les autres années correspondent à des crues et décrues dont les phases de croissance sont beaucoup plus rapides et où l'intensité de l'écoulement peut tripler en 24 heures. Les débits maximums sont beaucoup moins importants (1973-74 =700 m³/sec) et très souvent bimodaux. Au niveau climatique, les classes des variables discriminantes se reflètent d'une part, par les températures (DEG) des périodes de gel/dégel et d'autre part, par les variables de précipitation des pluies importantes. Le couvert nival est souvent peu important ou il fond très lentement. Les précipitations jouent un rôle beaucoup plus important entre la phase de décrue et celle de l'étiage d'été, ce qui engendre une intensité d'écoulement estival beaucoup plus important. Les S.E.S sont souvent composés de jours non-consécutifs ce qui présuppose une succession de systèmes climatiques très rapide ou la présence d'un système dépressionnaire stable.

Les périodes d'étiage d'été sont liées essentiellement à la crue printanière. Une crue associée à des conditions climatiques favorisant une évacuation rapide des eaux de fonte est plus souvent suivie d'un régime pluvial moins important ce qui engendre des étiages de basses eaux. Les conditions synoptiques pouvant favoriser une fonte rapide du couvert neigeux sont associées à un système de haute pression qui se caractérise par l'absence de pluie et une radiation importante (couvert nuageux très faible). Plus cette condition synoptique sera importante, plus le régime d'écoulement va s'isoler des conditions climatiques. Le peu d'intrant servira à alimenter les eaux souterraines et n'aura aucun effet sur l'intensité de l'écoulement. Le plus bel exemple de ce déterminisme est l'absence de crue d'automne pour l'année 1978-79. Même s'il y a présence de précipitations pour les mois d'été (S.E.S no : 13, 20, 25 et 26) la quantité reçue est infiltrée dans le sol et ne change en rien l'intensité de l'écoulement. Un second exemple est représenté par le S.E.S 14 pour l'année 1977-78.

Au contraire, pour les années où la crue printanière est discriminée par les températures de la classe DEG et par les classes des variables de précipitation représentent des périodes d'intrant (pluies). Ces conditions favorisent une saturation de la nappe phréatique qui engendre des étiages beaucoup

moins longs et d'intensité d'écoulement plus élevée (l'intrant est immédiatement évacué).

Pour les crues d'automne, leur durée est fonction de l'importance des précipitations automnales et du niveau de saturation de la nappe phréatique à cette période de l'année, donc de l'intensité de l'écoulement de la période d'étiage d'été. Plus l'intensité de celle-ci est faible (0-5 m³/sec), plus courte est la crue, les premières précipitations étant captées par le bassin et servant à la reconstitution de la nappe phréatique. Si par contre, l'étiage d'été est caractérisé par une forte intensité (5 m³/sec et plus), l'ensemble des pluies automnales est alors directement évacué ce qui se reflète par une crue beaucoup plus longue. Nous observons dans les dendrogrammes que les périodes de crue d'automne correspondent à une levée d'entropie beaucoup plus importante, et les S.E.S qui les représentent se forment dans les derniers paliers de division.

) Finalement les régimes d'étiage d'hiver sont eux-mêmes directement reliés à la crue d'automne. Les étiages d'hiver sont généralement représentés dans les dendrogrammes par la division effectuée par la variable *neigesol* et se concentrent dans les débits à tendance stable. La levée d'entropie se fait essentiellement à l'aide des classes TRI et QUA (soit 20 cm et plus) représentant la présence d'un couvert nival. La formation des S.E.S s'effectue au deuxième palier pour les années où l'hiver

est long (coupure de l'année en deux groupes : présence et absence de neige) et au troisième palier pour les années à hiver moins rigoureux .

De plus un hiver neigeux a pour effet d'isoler l'écoulement des conditions climatiques de surface, la neige formant une couche où seulement la surface est affectée par les variations de température, et d'imbiber l'intrant reçu. Tout ceci est proportionnel à l'épaisseur du couvert nival. Citons comme exemple le S.E.S no : 5 pour l'année 1976-77, qui comporte les 52 jours correspondants à l'étiage d'hiver (représenté par les classes TRO, QUA et CIN de la variable *neigesol*) . Dans le cas des années où l'étiage représente une intensité d'écoulement plus importante (exemple : 1980-81) la discrimination est surtout faite à partir des températures froides et/ou par une division hivernale de la tendance décroissante basée sur l'épaisseur de la neige au sol (1976-77).(Annexe V.f)

Les fluctuations de débit pendant la période hivernale sont associées dans les dendrogrammes à deux types d'événements climatiques. D'abord aux périodes de fonte, ensuite aux précipitations liquides lorsque le couvert nival est peu important. Ces deux situations composent le S.E.S no 39 de l'année 1977-78 et les S.E.S no 40 et 41 pour l'année 1972-73.(Annexe V.g et V.b)

Nous avons donc montré que chacun des régimes hydrologiques est plus ou moins bien déterminé par les conditions climatiques qui ont influencé le bassin. Au point de vue de l'écoulement, la sensibilité est fortement liée à l'intensité du débit. Les résultats obtenus de la division climatique nous permettent d'identifier pour l'ensemble des dix années, trois situations climatiques annuelles :

TYPE I

Régime à quatre saisons

-Il se caractérise par une division hydrologique saisonnière où l'étiage d'été est faible, les précipitations étant moins abondantes.

-La crue principale se distingue par une progression lente où le maximum du débit est le plus fort. la période de décrue est symétrique à celle de la crue et suivie, dépendamment des précipitations, par une période de basses eaux. Elle n'est représentée que par une seule phase de croissance et de décroissance. Climatiquement elle est liée à une augmentation progressive des températures.

- L'étiage d'hiver est fonction de l'épaisseur du couvert nival qui est très important pour ces années. De plus son débit est proportionnel à l'importance de la recharge des eaux souterraines c'est-à-dire à la crue d'automne.

- La crue d'automne est elle fortement liée aux

précipitations pendant cette période et au niveau de la nappe phréatique.

Ce type de climat est représenté par les années 1975-76, 1977-78, 1978-79 et 1981-82.

TYPE II

Régime à quatre saisons mais
à printemps plus froid et pluvieux

-La crue principale est à débit maximum plus faible et composée de plusieurs périodes de croissance et de décroissance, donc une évacuation beaucoup plus lente des eaux stockées sous forme de neige. Au point de vue climatique elle correspond à un printemps où les alternances de gel et de dégel sont fréquentes.

-L'étiage d'été est souvent de forte intensité (5-30 m³ / s e c).

-Par contre les deux autres régimes sont du même type que pour le climat précédent.

-L'écoulement est quand même plus sensible aux précipitations et le bassin joue un rôle beaucoup plus faible.

Ce type caractérise les années 1974-75, 1976-77, 1979-80 et 1980-81.

Et finalement:

TYPE III
Régime sans distinction
saisonnaire

- Pour ces années, l'ensemble de l'écoulement annuel représente des relations intrant/sortant directes.
- La crue principale est similaire à ceux du type II.
- Le bassin se maintient à un niveau de saturation qui favorise une évacuation rapide de l'intrant.
- Les périodes d'étiage sont de courte durée.
- L'été et l'hiver sont caractérisés par un écoulement où le débit est fort (10-30 m³/sec). Seulement 16% des jours ont un débit inférieur à 10 m³/sec pour 1972-73.

Cette situation définit l'écoulement pour les années 1972-73 et 1973-74.

Ces trois groupes climatiques représentent très bien les différentes contraintes exercées par le climat et le bassin hydrographique. Si on reconsidère la contribution des variables climatiques, nous pouvons conclure que pour le premier type climatique la discrimination s'effectue par les variables exprimant une évolution saisonnière par une forte contribution des

températures et de la neige au sol. Pour le deuxième groupe d'années la contribution des variables exprime un régime climatique où les précipitations sont beaucoup plus importantes sur l'ensemble de l'année. Finalement le troisième type climatique est surtout lié à des conditions de contrainte annuelle où les S.E.S représentent des conditions d'évolution journalière et non-séquentielle.

Tout ceci nous permet de conclure qu'il existe effectivement un certain niveau de contrainte climatique par rapport à l'écoulement. Mais le déterminisme climatique varie beaucoup d'une année à une autre. Pour certaines années l'écoulement s'associe à la périodicité des températures tandis que pour les autres années les variables discriminantes reflètent des relations intrant/sortant (fourniture d'eau : Neige au sol, Précipitation et Radiation).

CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent pour le bassin de la Nation du Sud une organisation tri-partite en ce qui concerne la période étudiée. Les conditions qui font que le comportement hydrologique s'apparente à l'un ou à l'autre des groupes d'années sont directement liées à différents seuils que nous avons établis dans les chapitres précédents (régime pluvial, neige au sol, radiation et température). Ces variables déterminent les différentes intensités de l'écoulement annuel. La quantité annuelle d'eau reçue par le bassin est déterminante en ce qui concerne le niveau de saturation et par ce fait présuppose des conditions favorables à une évacuation importante et rapide (5 et plus m^3/sec) ou alors à un écoulement de basses eaux (0-5 m^3/sec) pour les périodes d'étiage. Les crues sont aussi liées à la quantité d'eau, et en plus, à l'aspect temporel (durée) de l'intrant.

Cette étude n'avait pas pour but de déterminer exactement les limites de chacun de ces seuils. Mais par contre, les constatations que nous pouvons faire en examinant certaines années nous permettent une première estimation. Il nous suffit de comparer aux autres années la distribution des pluies pour l'année 1978-79 (Annexe II.g) où la quantité reçue est insuffisante à saturer le milieu drainant et de ce fait l'écoulement se maintient entre 0 et $5m^3/sec$ pendant l'été. Cette année nous permet donc une première estimation des quantités de pluies nécessaires au pas-

sage d'une période de basses eaux (0-5 m³/sec) à un écoulement faible (5-10 m³/sec) ou moyen (10-30 m³/sec).

Nous pouvons conclure que les contraintes exercées par les précipitations, les températures, la radiation et le couvert nival sont, sur les régimes d'écoulement, essentiellement de type saisonnier. Nous avons montré que pour l'ensemble des dix années à l'étude trois régimes climatiques annuels pouvaient être définis. Chacun d'eux étant composé de régimes saisonniers différents au point de vue de l'importance des précipitations, la présence de condition climatique particulière se traduit par un écoulement annuel distinct.

L'ensemble de ces constatations nous permettent aussi de conclure que pour les années où les quatre saisons sont bien définies en terme de régime climatique, l'écoulement annuel sera composé de quatre régimes très bien définis soit: deux périodes de crues (printemps et automne) et de deux périodes d'étiages (été et hiver), l'intensité de l'écoulement étant très faible pour les périodes d'étiage (0-5 m³/sec), tandis que les deux périodes de crues sont fonction de l'importance des apports en eaux. Les températures sont les variables les plus discriminantes.

Par contre, pour les années où les régimes climatiques sont caractérisés par d'importants apports en eau, les régimes saisonniers sont très mal définis et le débit est très important (10-30 m³/sec). Dans ce cas, les contraintes climatiques sont non pas saisonnières mais plutôt journalières. Cette situation se reflète par une contribution très importante des variables représentant des conditions synoptiques dépressionnaires qui engendrent des périodes d'apport d'eau très importantes (exemple: forte pluie, ennuagement important et forte amplitude des pressions). Les résultats montrent alors qu'il est possible de lier les différents régimes d'écoulement aux différentes organisations climatiques.

Au total, ceci permet de constater qu'il existe une certaine autonomisation du régime hydrologique à l'égard des contraintes climatiques, plus ou moins importantes selon les années. Celle-ci est liée aux caractéristiques mêmes du bassin, nature de la roche en place et des dépôts de surface, infiltration et conditions d'écoulement et met en évidence leur rôle variable dans le temps.

Une étude de ce genre se justifie à plusieurs points de vue. D'abord une meilleure compréhension des contraintes climatiques sur l'écoulement assure l'élaboration de modèles prédictifs beaucoup plus performants. En effet, le fait de mieux comprendre les relations et le rôle de chacune des variables devient important lors du choix de modèles. En plus, le fait de saisir les moda-

lités de ce type de relation pourrait devenir un outil de simulation dans le domaine de l'hydrologie.

Grâce aux résultats obtenus pour le bassin de la Nation du Sud, il serait intéressant, lors de l'élaboration de travaux ultérieurs, d'appliquer la procédure *PEGASE* à des bassins hydrographiques différents. Par exemple, nous suggérons une étude pour des bassins à influence climatique homogène mais où le milieu drainant serait composé d'une structure géologique et de dépôts de surface différents de celui de la Nation du Sud. Cette expérience permettrait de mieux évaluer le rôle du filtre (bassin). De même, la procédure pourrait être appliquée à des bassins influencés par des régimes climatiques différents et à dépôts géomorphologiques variables (ex: Bassin de montagne); ce genre d'étude serait alors applicable à chacun des sous-bassins. Ainsi, par son caractère innovateur ce type d'étude élargit les domaines d'analyse de l'hydrologie.

BIBLIOGRAPHIE

- AKOJIMA, I.-- 1981. Mapping the Potential Energy of Erosion in Mountains and Adjustment Value Presenting the Erosion Resistibility of Rocks. [Transactions, Japanese Geomorphological Union 2-1; pages 89-94.]
- AMBROISE, B.-- 1978. Modèles mathématiques dynamiques en géographie physique. [Revue Géographique de L'est vol.3; pages 149-167.]
- BAGNOLD, R.A.-- 1966. An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. [Geological Survey Professional Paper no.422-I; 37 pages.]
- BATTY, M.-- 1974. Spatial Entropy. [Geographical Analysts, no : 6; pages 1-31.]
- BENNETT, R.J. & CHORLEY, R.J. -- 1978. Environmental Systems. [Methuen & Co, London; 624 pages.]
- BERNARD, C. and MASSON, A.-- 1974. The Empirical Study of the Evolution of Drainage Networks. [Notes et Documents, Département de Géographie de l'Université de Montréal no.77-01; 112 pages.]
- BETAK, J.F.-- 1974. Information Theory as a Basis for Studying Environmental Complexity. [Environnement and Planning A, no : 6 ; pages 259-272.]
- BEZADA DIAZ, M.--1981. Champlain Sea Sediments and Landforms in the Alexandria Map Area. [Thèse de maîtrise (non publiée), Département de Géographie, Université d'Ottawa; 175 pages.]
- CARLSTON, C.V.-- 1963. Drainage Density and Streamflow. [Geological Survey Professional Paper no.422-C; 8 pages.]
- CHIN, V.I., WANG, K.T. and VALLERY, D.J.--1980. Water Resources of the South Nation River Basin--Summary--. [Ministry of the Environment, Water Resources branch -Ontario - report 13 (Water Resources); 7 pages.]
- CHORLEY, R.J. & KENNEDY, B.A.-- 1971. Physical Geography : a System Approach. [Prentice Hall, London; 370 pages.]

- CHUNG, C.L. and SCHEIDEGGER, A.E.--1968. A Thermodynamic Analogy for Transport Processes Involving a Non-Positive Definite Transported Quantity. [Reprints of Bulletin of the I.A.S.H, XIIIe années no.3; pages 88-94.]
- DEWEZ, V.--1984. Analyse Systémique de la Distribution de Buttés Cryogènes et Tourbières au Nouveau-Québec. [Séminaire de doctorat, Département de Géographie, Université d'Ottawa. (Non publié).]
- DEWEZ, V., LAGAREC, D. and RHIPPS, M.--1984. The Distribution of Some Periglacial Landforms in Northern Québec (Canada) as related to Climate : An Information System Approach. [Notes de Recherche, Département de Géographie, Université d'Ottawa no : 47, 35 pages.]
- EL-ASHRY, M.T.-- 1971. Quantitative Method for Grading Drainage Density.[Geological Society of America Bulletin vol.82; pages 1703-1706.]
- FINLAYSON, B.--1977. Runoff Contribution Areas and Erosion. [School of Geography University of Oxford Research paper no.18; 38 pages.]
- FOURNIER, F.--1960. Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. [Paris, P.U.F., 15 graph; 201 pages.]
- GHOSH, A.K. and SCHEIDEGGER, A.E.--1971. Calculation of Expected Values of Observables in some Problems of Statistical Geomorphology. [Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology XVIe no.4; pages 57-61.]
- GLANGEAUD, L.--1938. Etude quantitatives et expérimentales sur l'érosion et le transport par les eaux courantes. [Revue de géographie physique et de géologie dynamique bulletin du laboratoire de géographie physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, vol XI fasc.4; pages 325-371.]
- GUILLIEN, Y.--1948. A propos de la notion de niveau de base. [Extrait du bulletin de la société géologique de France 5e série tome XVIII; pages 209-214.]
- GUREVICH, B.L.-- 1969. Geographical Differention and its Measure in a Discrete System.[Sorviev Geography, no : 10; pages 387-413.]
- HJULSTROM, F.--1932. Das Transportvermögen der Flüsse und die Bestimmung des Erosionbetrages. [Geografiska Annaler vol. 14; pages 244-258.]

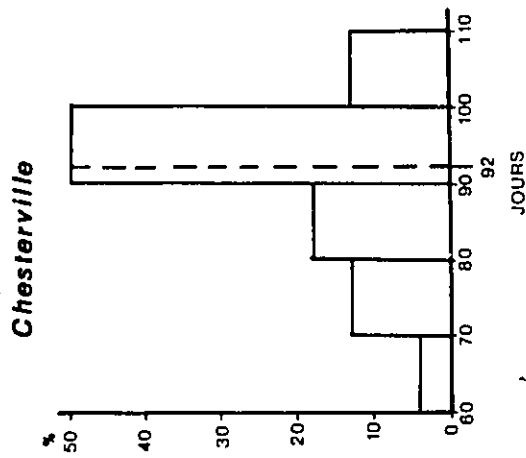
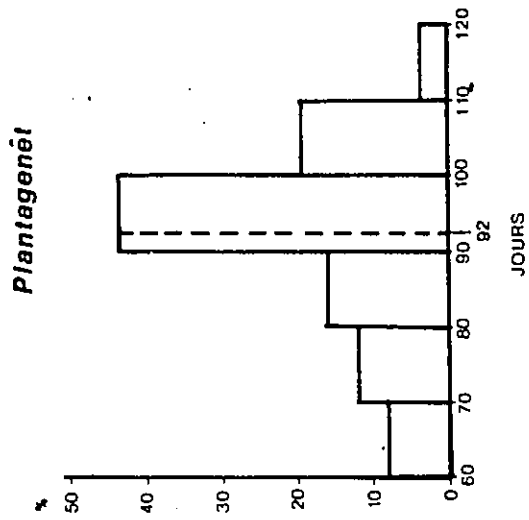
- HORTON, R.E.--1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basin. Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. [Bulletin of Geological Society of America no.56(3); pages 275-370.]
- JENNIRICH, R.I.--1979 Stepwise Discriminant Analysis. Statistical Methods for Digital Computer. [Editor K. EMSLEIN; A. RALSTON and H.S. WILF. New-York; Chap. 5].
- KIRSCH, F.--1962. Méthode de prévision des débits des cours d'eau par l'analyse morphométrique des réseaux fluviaux. [Revue de Géomorphologie Dynamique no.7-8-9; pages 97-106.]
- KENNEDY, J.F., RICHARDSON, P.D. and SUTERA, S.P.--1964. Discussion on "Geometry of River Channels" by Langbein, W.B. [J. Hydraul. Div. Amer. Soc. Civil Eng. no.90(HY6); pages 332-341.]
- LANGBEIN, W.B.--1965. Closure on "Geometry of River Channels" by Langbein, W.B. [J. Hydraul. Div. Amer. Soc. Civil Eng. no.90(HY3); pages 297-313.]
- LEOPOLD, L.B. and LANGBIEN, W.B.--1962. The Concept of Entropy in Landscape Evolution. [U.S. Geol. Survey Professional Paper no.500-A; 20 pages.]
- LEOPOLD, L.B.--1953. Downstream Change of Velocity in Rivers. [Amer. Jour. of Science vol.251; pages 606-624.]
- LLAMAS, J et POULIN, R.--1977. Simulation des débits de crue à Montréal [Les cahiers de centreau (Centre de recherches sur l'eau) Université Laval. Vol II, no.6,]
- LLAMAS, J et TRIBOULET, J.P.--1977. Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du Saint-Laurent [Les cahiers de centreau (Centre de recherches sur l'eau) Université Laval. Vol. II, no.2; 47 pages]
- LLAMAS, J et TRIBOULET, J.P.--1976. La température de l'air et le cycle hydrologique: structure statistique. [Les Cahiers de Centreau, Vol. I, no.3; 66 pages.]
- LEWIS, G.N. and RANDALL, M.--1961. Thermodynamics. 2nd ed. by Spitzer, K.S. and Brewer, L. [Mcgraw-Hill, New-York; pages 91-92.]
- MARCHAND, B.-- 1975. On the Information Content of Regional Maps : The concept of Regional Redundancy. [Economic Geography, no : 51; pages 117-127.]

- MARCHAND, B.--1978. A dialectical Approach in Geography, [Geographical Analysis no : 10, pages 105-119.]
- MELTON, M.A.--1958. List of Sample Parameters of Quantitative Properties of Landforms: Their use in Determining the Size of Geomorphic Experiment. [Office of Naval Research. Technical report no.16; 17 pages.]
- MELTON, M.A.-- . Geometric Properties of Mature Drainage Systems and their Representation in an E4 Phase Space. [Office of Naval Research. Geography branch. Technical report no.15; pages 35-54.]
- MICHAUD, L.--1985. Etude Spatiale et Ecologique des Types Stratigraphiques de Tourbières au Nouveau-Brunswick. [Thèse de maîtrise (non publiée) , Département de Géographie, Université d'Ottawa; 131 pages]
- MILLER, M.M.--1973. Entropy and Self-regulation of Glaciers in Arctic and Alpine Regions. [3rd Symposium on Geomorphology; pages 136-158.]
- MORIN, C.--1979. Modèle d'organisation spatiale et écologique des types de communautés végétales de la région du Mont-Ste-Marie. [Thèse de maîtrise (non publiée), Département de Géographie, Université d'Ottawa.
- PHIPPS, M.--1979. Information Theory and Spatial-Ecological Analysis: The "Pegase" procedure. [Note de Recherche, Département de Géographie, Université D'Ottawa, no. 23, 45 pages.]
- PHIPPS, M.--1981a. Entropy and Community Pattern Analysis. [Jour. Theor. Biol, no : 93; pages 253-272.]
- PHIPPS, M.--1981b. Information Theory and Landscape Analysis in : Perspectives in Landscape Ecology. [Tjallingii, S.P. and de Veer, A.A., eds., Wageningen, Pudoc: 57-64.]
- PHIPPS, M.--1982. Structure and Development of Agricultural Landscape : Four Canadian Examples. [proc. Vth Intern. Sympos. Landsc. Ecol. Research, Oct, Bratislava.]
- PHIPPS, M. & DUMANSKI, J.--1983. Application of Information Theory to the Study of Agricultural Land use Adjustment to Natural Environments. [Proc. 6th Applied Geogr. Conf., Toronto.*****]
- PRIGOGINE, I.--1967. Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes. [3rd ed. John Wiley. New-York; 147 pages.]

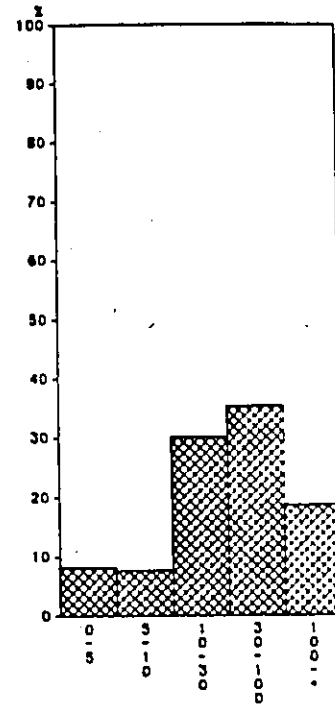
- TAILLEFER, F.--1947. Profil d'équilibre et tracé d'équilibre. [Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Institut de Géographie de la Faculté des Lettres de Toulouse. tome XVI-XVIII no.1945-46; pages 202-232.]
- SANGAL, B.P.--1981. Méthode pratique pour l'estimation des débits de pointe à partir des débits journaliers moyens et application à des cours d'eaux de l'Ontario. [Collection des Rapports Techniques de la Direction Générale des Eaux Intérieures Etude no : 122; 242 pages.]
- SEYHAN, E.--1976. Quantitative Relief Classification in the Ardeche River Basin Southern France. [Publikatie uit het Geografisch Institut des rijksuniversiteit Utrecht. serie B nr62; 36 pages.]
- SCHEIDERGGER, A.E.--1964. Some Implication of Statistical Mechanics in Geomorphology. [Inst. Sci. Hydrol. Bull 9(1); pages 12-16.]
- SCHEIDERGGER, A.E.--1970. On the Theory of Evolution of River Nets. [Bull. of the International Association of Scientific Hydrology XV 1; pages 109-114.]
- SCHUMM, S.A.--1968. River Adjustment to Altered Hydrologic Regimen--Murrumbidgee River and Paleochannels, Australia. [Geological Survey Professional Paper no.598; 62 pages.]
- SHREVE, R.L.--1967. Infinite Topologically Random Channel Network. [Journal of Geology no.75,2; pages 178-186.]
- SMITH, K.G.--1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. [American Journal of Science, vol 248; pages 655-668.]
- STRAHLER, A.N.--1952. Quantitative Geomorphology of Erosional Landscapes. [19 Congs. Geol. Inst; pages 341-354.]
- STRAHLER, A.N.--1952. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. [Bull. Geol. Soc. of America, vol 63; pages 1117-1142.]
- SUNDBORG, A.--1967. Some Aspects on Fluvial Sediment and Fluvial Morphology I. General Views and Graphic Methods. [Geografiska Annaler no. 49A; pages 333-342.]
- WILCOCK, D.A.--1971. Investigation into the Relations Between Bedload Transport and Channel Slope. [Geological Society of America, bull. vol. 82; pages 2159-2176.]

- WILSON, A.G.-- 1981. Geography and Environment : System Analytical Method. [J. Wiley & Son, New York; 297 pages.]
- WITHERSPOON, D.F.--1970. A Hydrologic Model of the Lake Ontario Local Drainage Basin. [Departement of Energy, Mines and Resources, Inland Waters branch Ontario. Technical Bull. no. 31; 12 pages.]
- YANG, C.T.--1971. Potential Energy and Stream Morphology. [Water Resources Research, Illinois, U.S. vol. 7 no. 2; pages 311-332.]
- YANG, C.T.--1972. Unit Stream Power and Sediment Transport. [Journal of the Hydrolics Division, American Society of Civil Engineers, no. 9295(HY10); pages 1805-1826.]
- YEVJIEVICH, V.--1972. Probability and Statistics in Hydrology [Water Resources, Fort Collins, Colorado.]

**DISTRIBUTION
DATES DE DEBIT JOURNALIER MAXIMAL**

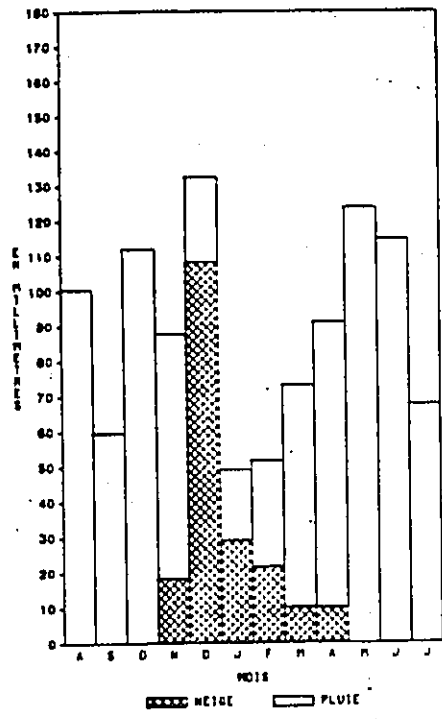


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE-1972-73**

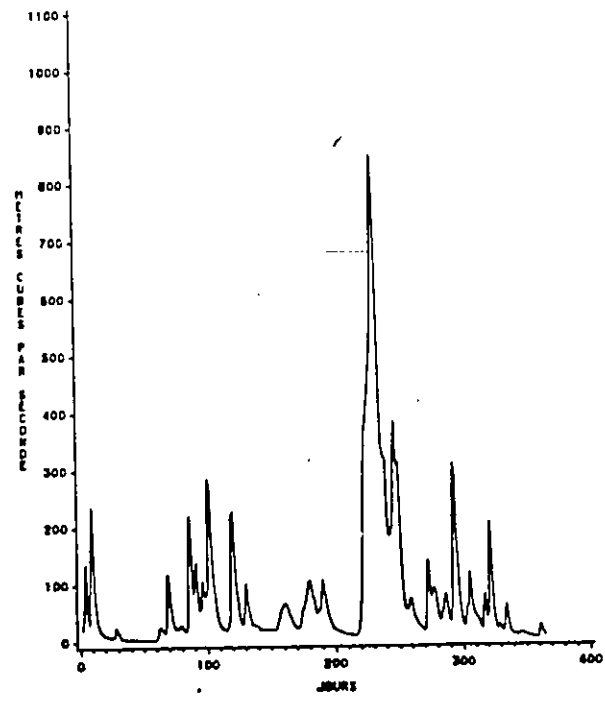


DEBIT EN METRES CUBES PAR SECONDE

**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE-1972-73**

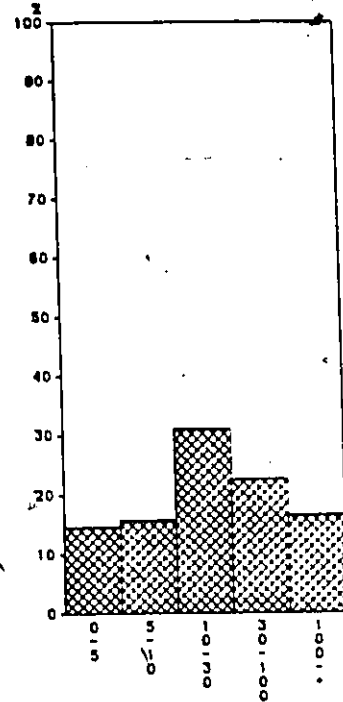
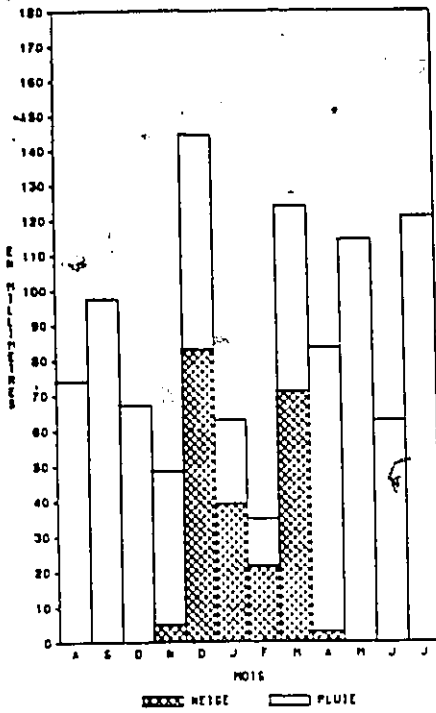


**COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION 021800
DU 1 AOUT 1972 AU 31 JUILLET 1973**



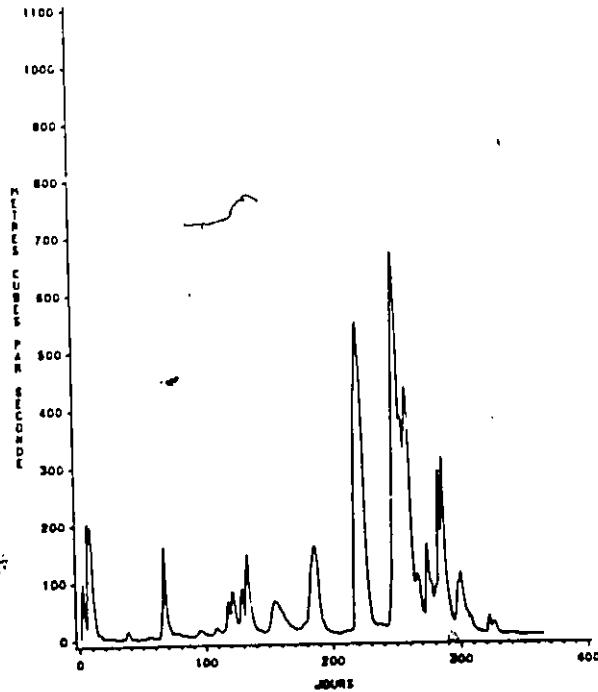
DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. MATIGNON-SUD
ANNEE=1973-74

PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1973-74



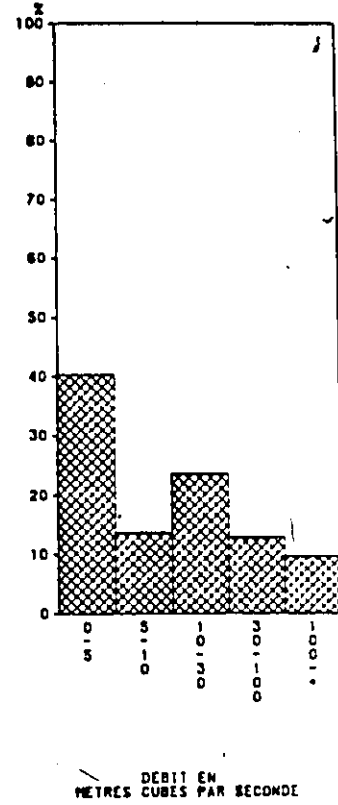
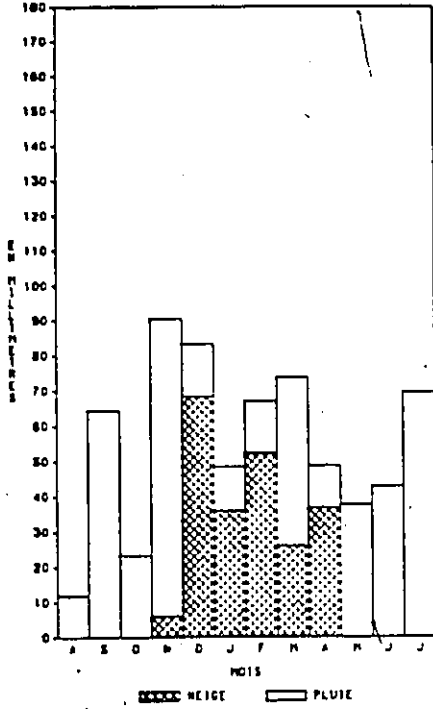
DEBIT EN METRES CUBES PAR SECONDE

COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION=02LB003
DU 1 AOUT 1973 AU 31 JUILLET 1974

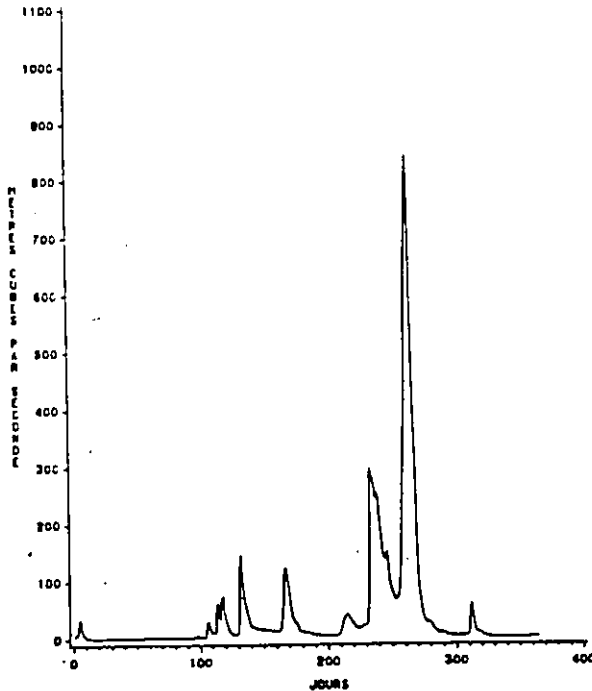


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1974-75**

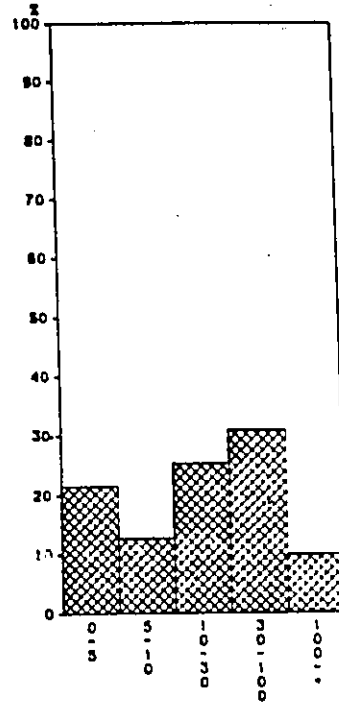
**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1974-75**



**COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLAQUEMINET STATION COLBOC
DU 1 AOUT 1974 AU 31 JUILLET 1975**

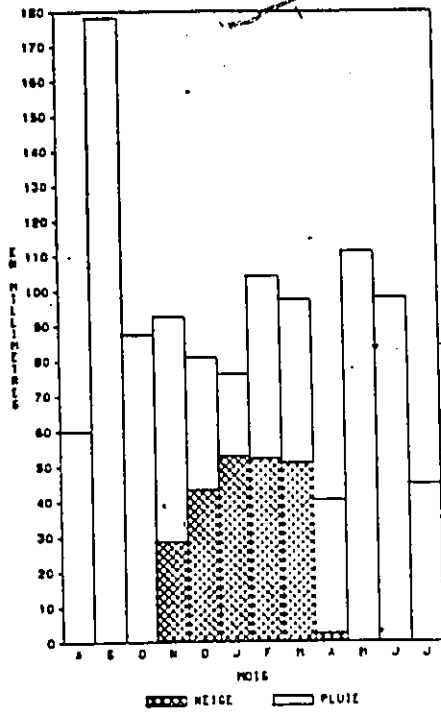


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE-1975-76**

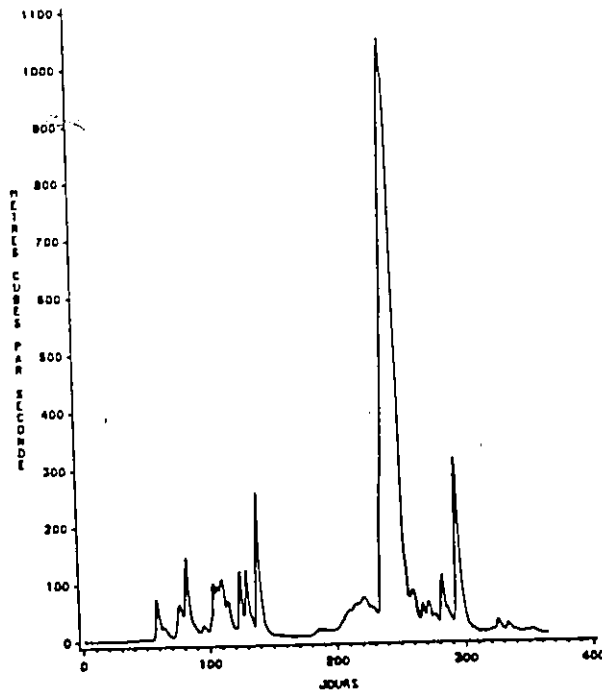


DEBIT EN
METRES CUBES PAR SECONDE

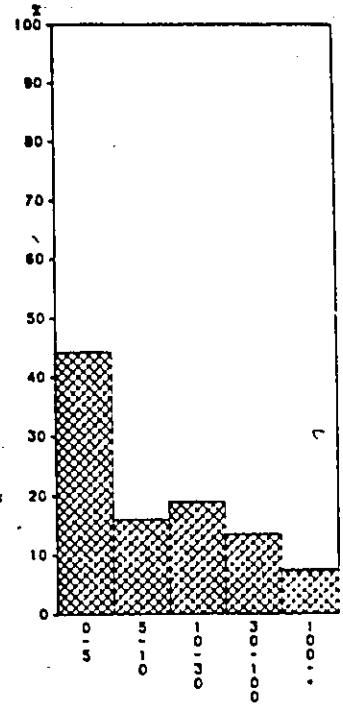
**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE-1975-76**



**COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION 02,800
DU 1 AOUT 1975 AU 31 JUILLET 1976**

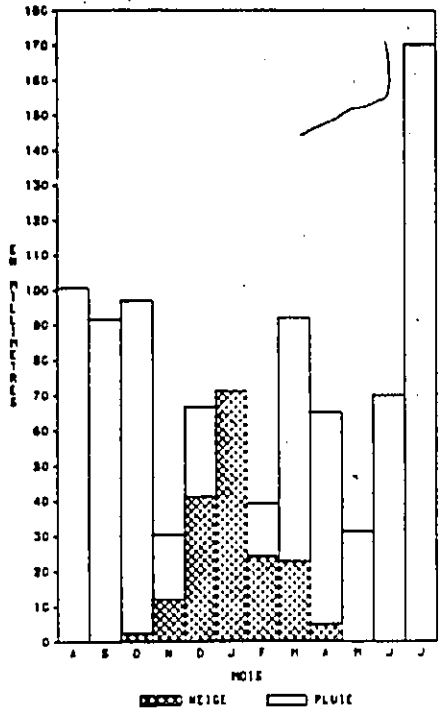


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE-1976-77**

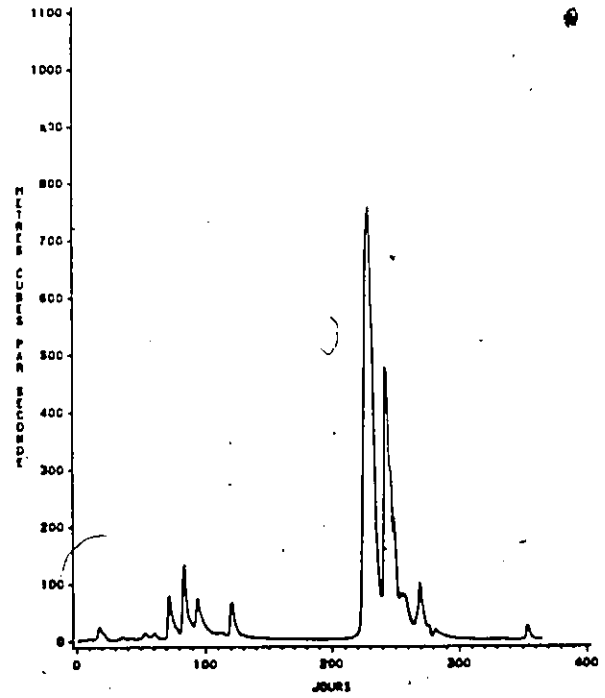


DEBIT EN METRES CUBES PAR SECONDE

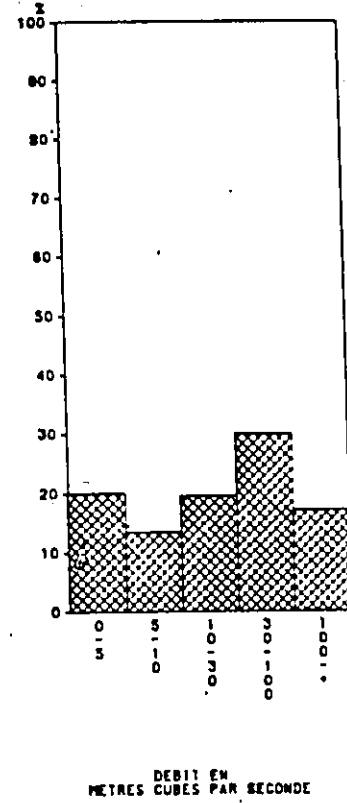
**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE-1976-77**



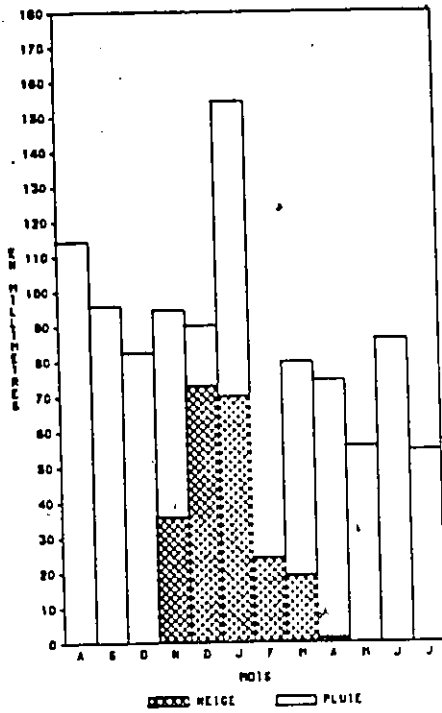
**COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION-02.8003
DU 1 AOUT 1976 AU 31 JUIN 1977**



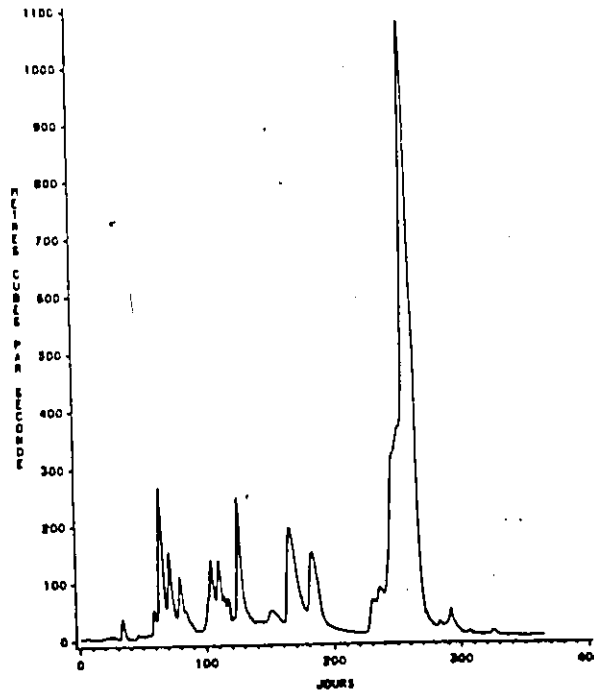
DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1977-78



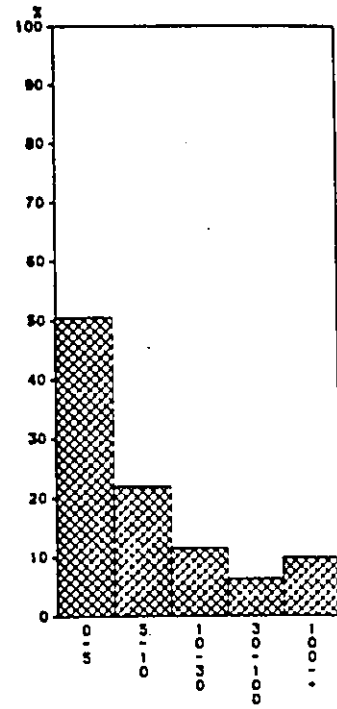
PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1977-78



COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTACEMENT: STATION 02L8005
DU 1 AOUT 1977 AU 31 JUILLET 1978

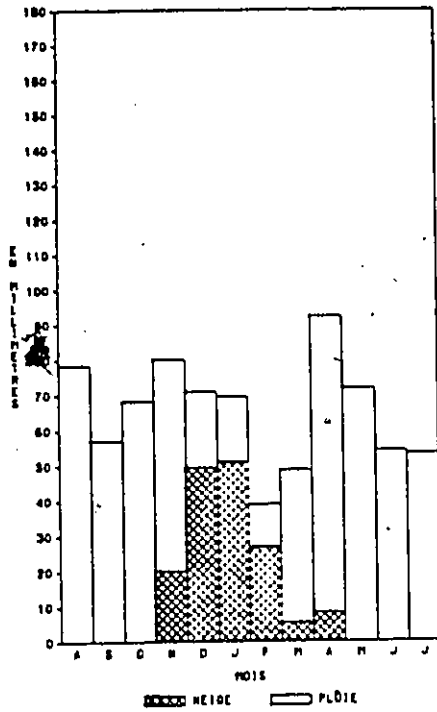


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. STATION-SUD
ANNEE 1978-79**

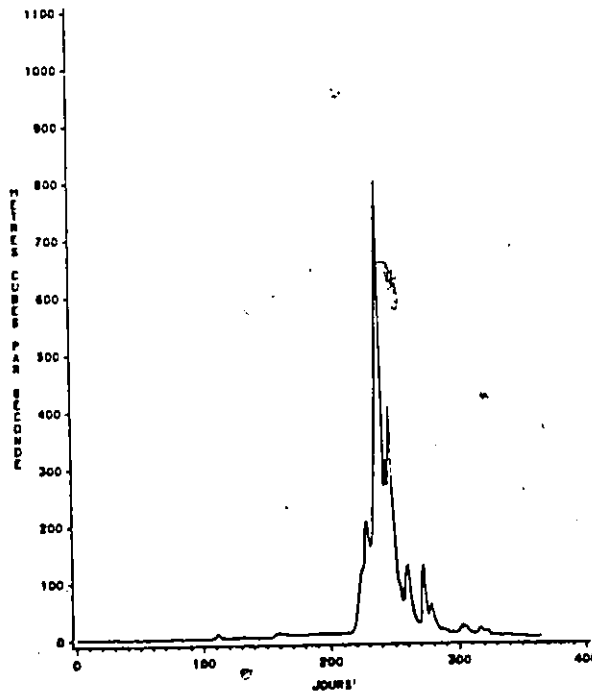


DEBIT EN
METRES CUBES PAR SECONDE

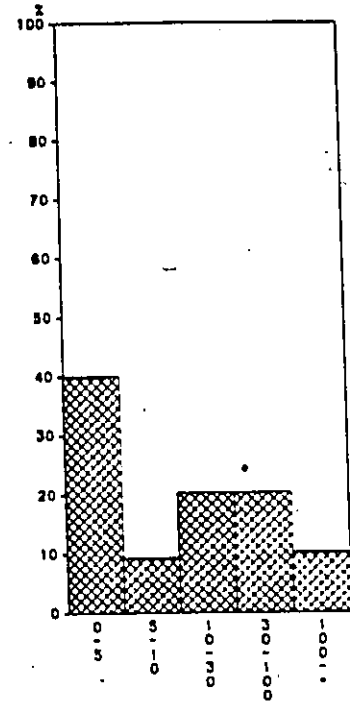
**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE 1978-79**



**COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION-02LB002
DU 1 AOUT 1978 AU 31 JUILLET 1979**

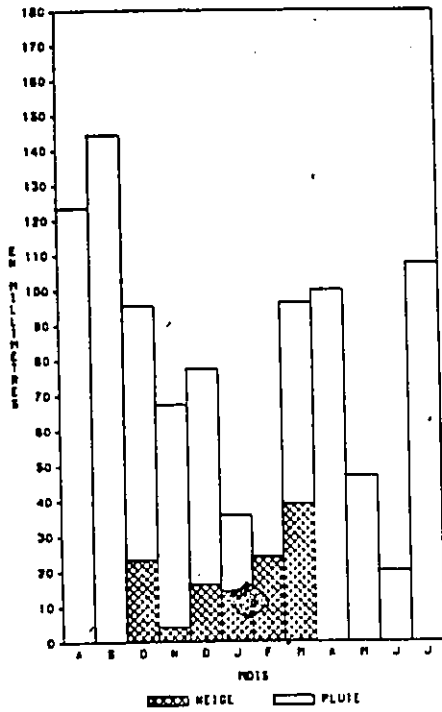


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. SATION-SUD
ANNEE=1979-80**



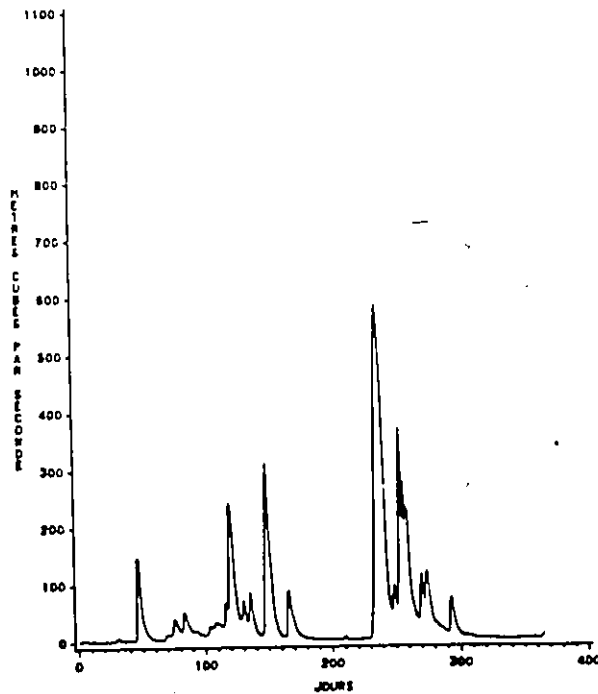
DEBIT EN METRES CUBES PAR SECONDE

**PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1979-80**

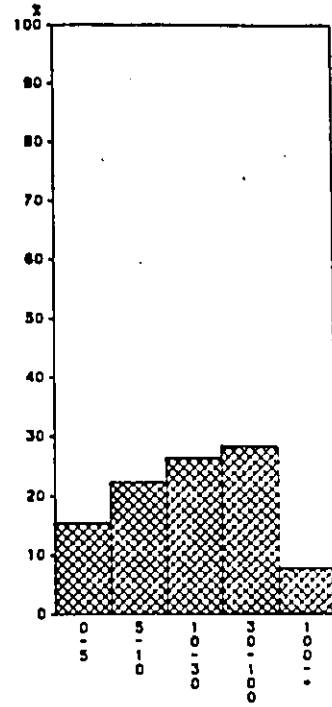


COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL

PLANTAGENCY STATION 02LB005
DU 1 AOUT 1979 AU 31 JUILLET 1980

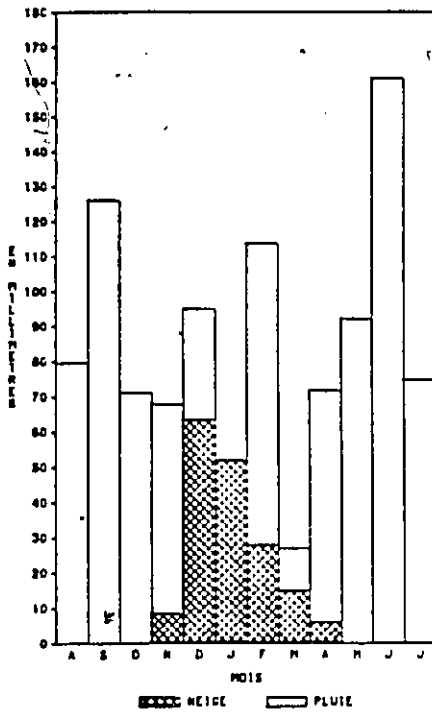


**DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT**
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1980-81

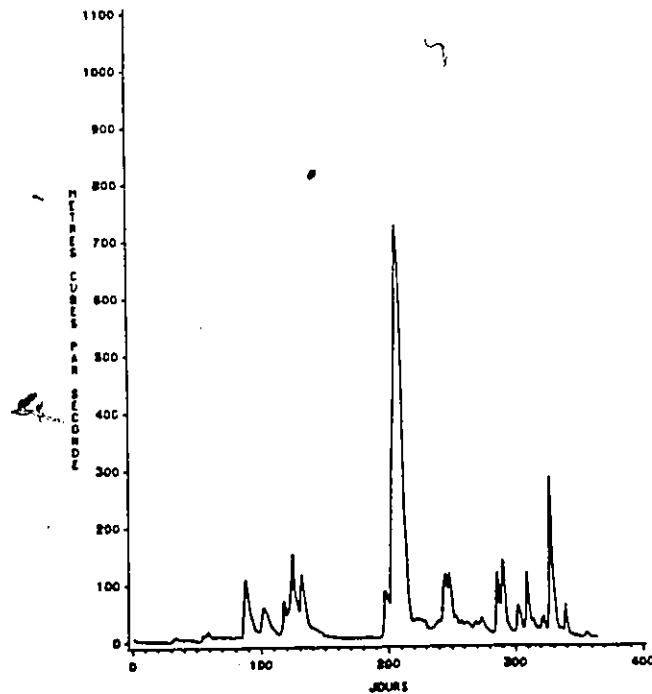


DEBIT EN
METRES CUBES PAR SECONDE

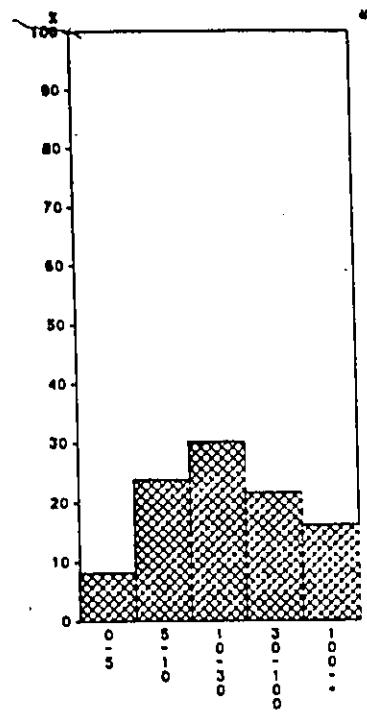
PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1980-81



COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTACEMENT: STATION-02,8001
DU 1^{er} AOUT 1980 AU 31 JUILLET 1981

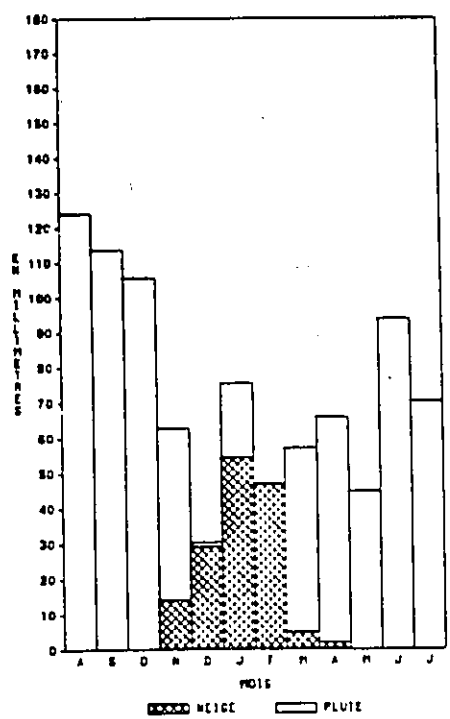


DISTRIBUTION INITIALE
DES CLASSES DE DEBIT
RIV. NATION-SUD
ANNEE=1981-82

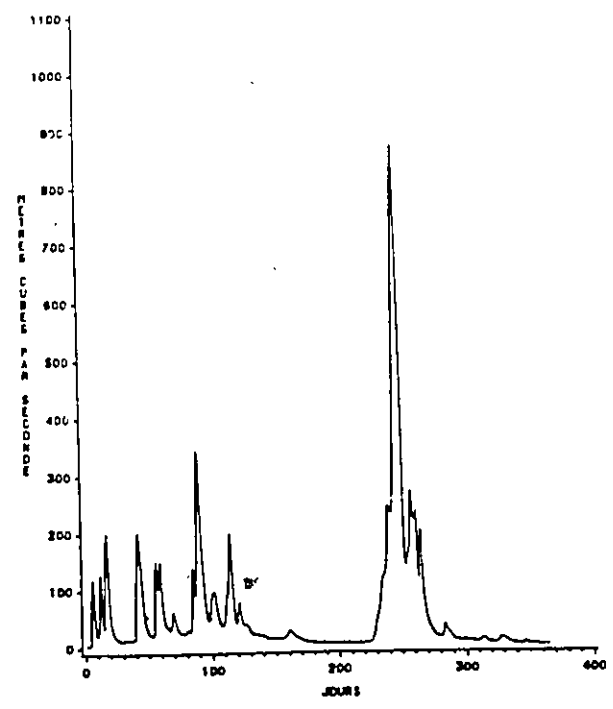


DEBIT EN METRES CUBES PAR SECONDE

PRECIPITATIONS ANNUELLES
CHESTERVILLE
ANNEE=1981-82



COURBE DE L'ECOULEMENT ANNUEL
PLANTAGENET STATION 02.8005
DU 1 AOUT 1981 AU 31 JUILLET 1982



PRECIPITATIONS NIVALES TOTALES

OTTAWA INT L A —
CHESTERVILLE —

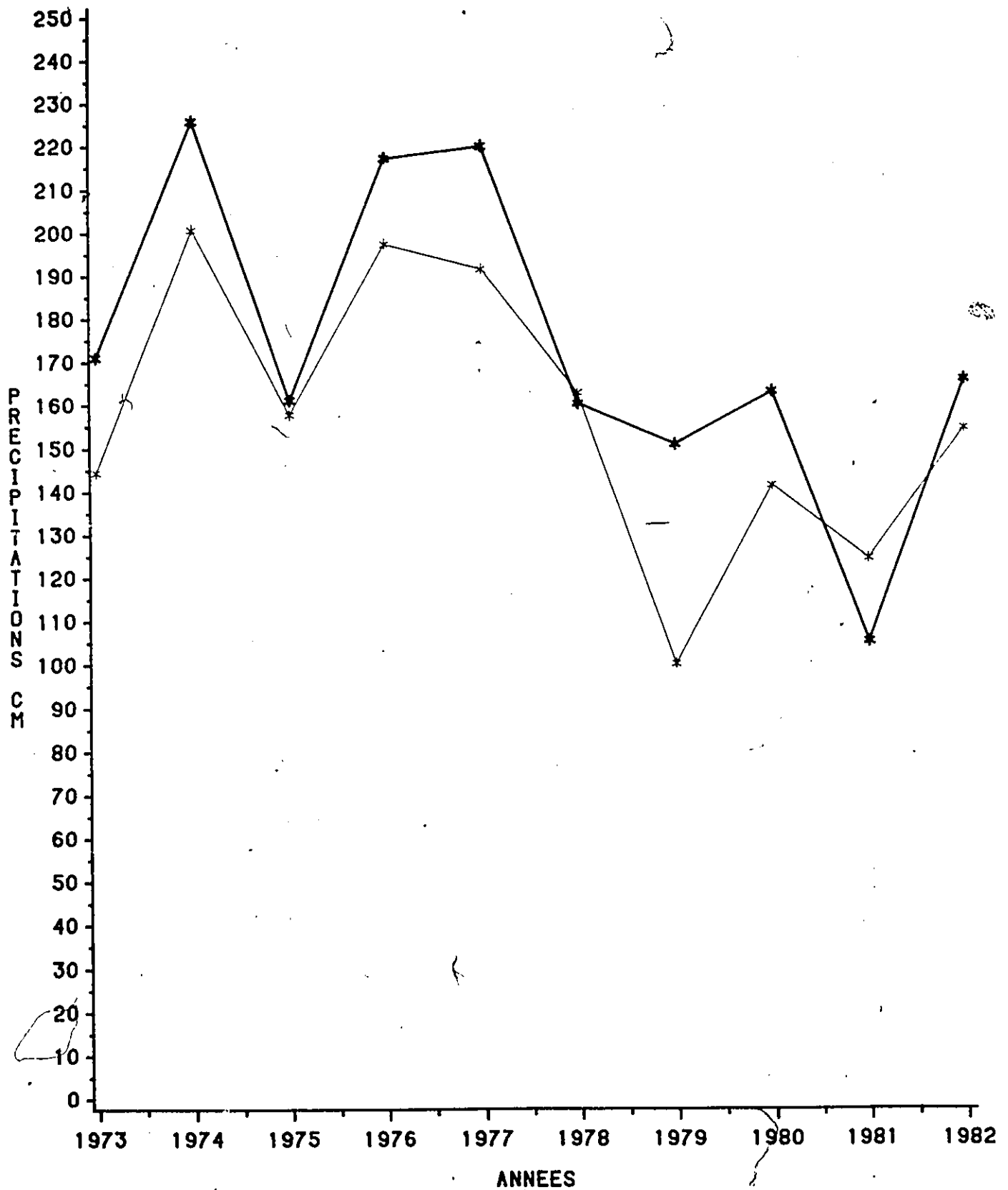


Tableau des classes pour les variables choisies

Variable dépendante Débit en mètres cubes par seconde	
classe	type d'écoulement
0-5	basses eaux
5-10	écoulements faibles.
10-30	écoulements moyens
30-100	faibles crues.
100-plus	fortes crues.

TEMPMAX en °celsius	
classe	intervale
FRO	moins à -13
FRA	-13 à -3
DEG	-3 à 3
CHA	3 à 14
CHB	14 à 25
CHC	25 et plus

TEMPMIN en °celsius	
classe	intervale
FRO	moins à -27
FRA	-27 à -13
FRB	-13 à -3
DEG	-3 à 3
CHA	3 à 14
CHB	14 et plus

TEMPAMP en °celsius	
classe	intervale
AAA	0 à 2.5
BBB	2.5 à 10
CCC	10 à 15
DDD	15 à 20
EEE	20 et plus

Precclass en millimètres	
classe	intervale
NUL	0.0
PEU	1 à 20
MOY	20 à 50
FOR	50 à 100
TRF	100 et plus

Annexe:IV (suite)

Neigesol en centimètres	
classe	intervale
NUL	0.0
PRE	1 à 10
DEU	10 à 20
TRI	20 à 30
QUA	30 à 40
CIN	40 et plus

Presmax en kilopascals	
classe	intervale
7 BAS	98.0 à 101.42
INT	101.43 à 101.92
INP	101.93 à 102.41
HAU	102.42 à 105.00

Nuage	
classe	intervale
NUA	0 à 48
NUB	48 à 96
NUC	96 à 192
NUD	192 et plus

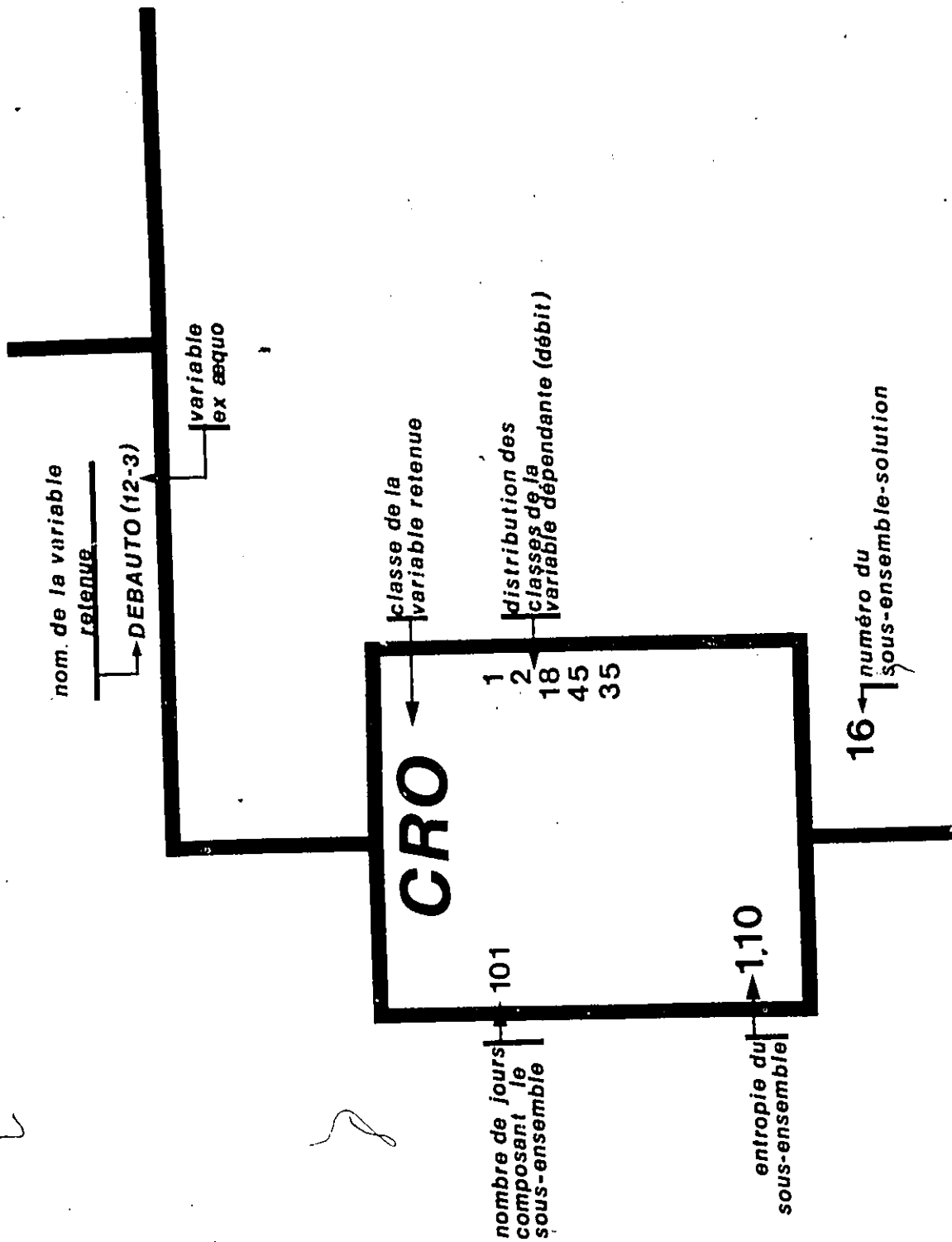
Pressamp en kilopascals	
classe	intervale
AAA	0.00 à 0.24
BBB	0.24 à 1.30
CCC	1.30 à 1.90
DDD	1.90 et plus

Radiaglo en mégajoules par mètre carré	
classe	intervale
UNA	0 à 5
DEU	5 à 10
TRO	10 à 15
QUA	15 et plus

DEBAUTO : CRO = Croissant
 STA = Stable
 DEC = Décroissant

PRECPLUIE : ABS = Absence
 PRE = Présent

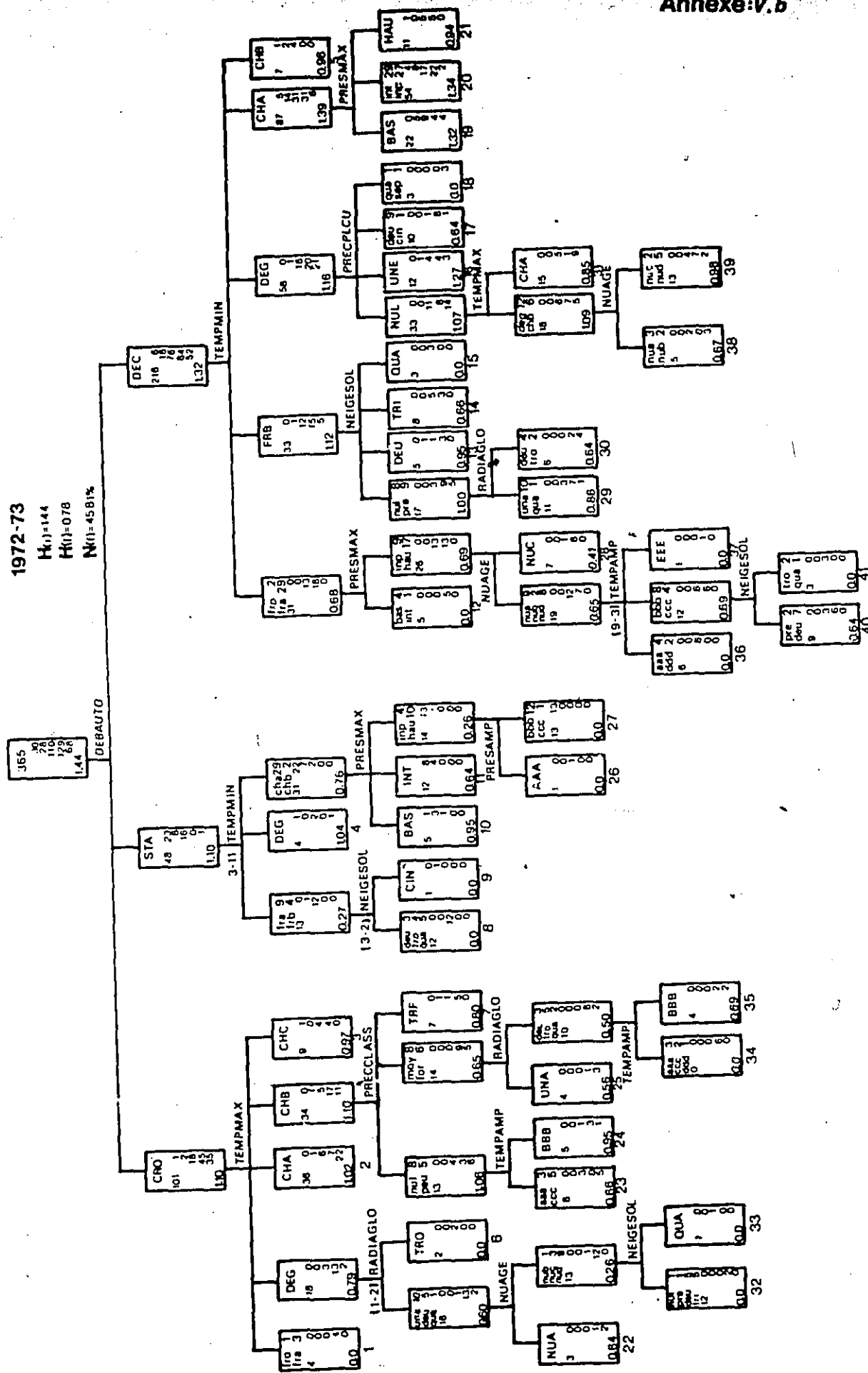
PRECPLUCU : 1 à 11 = nombre de jours de pluies consécutives



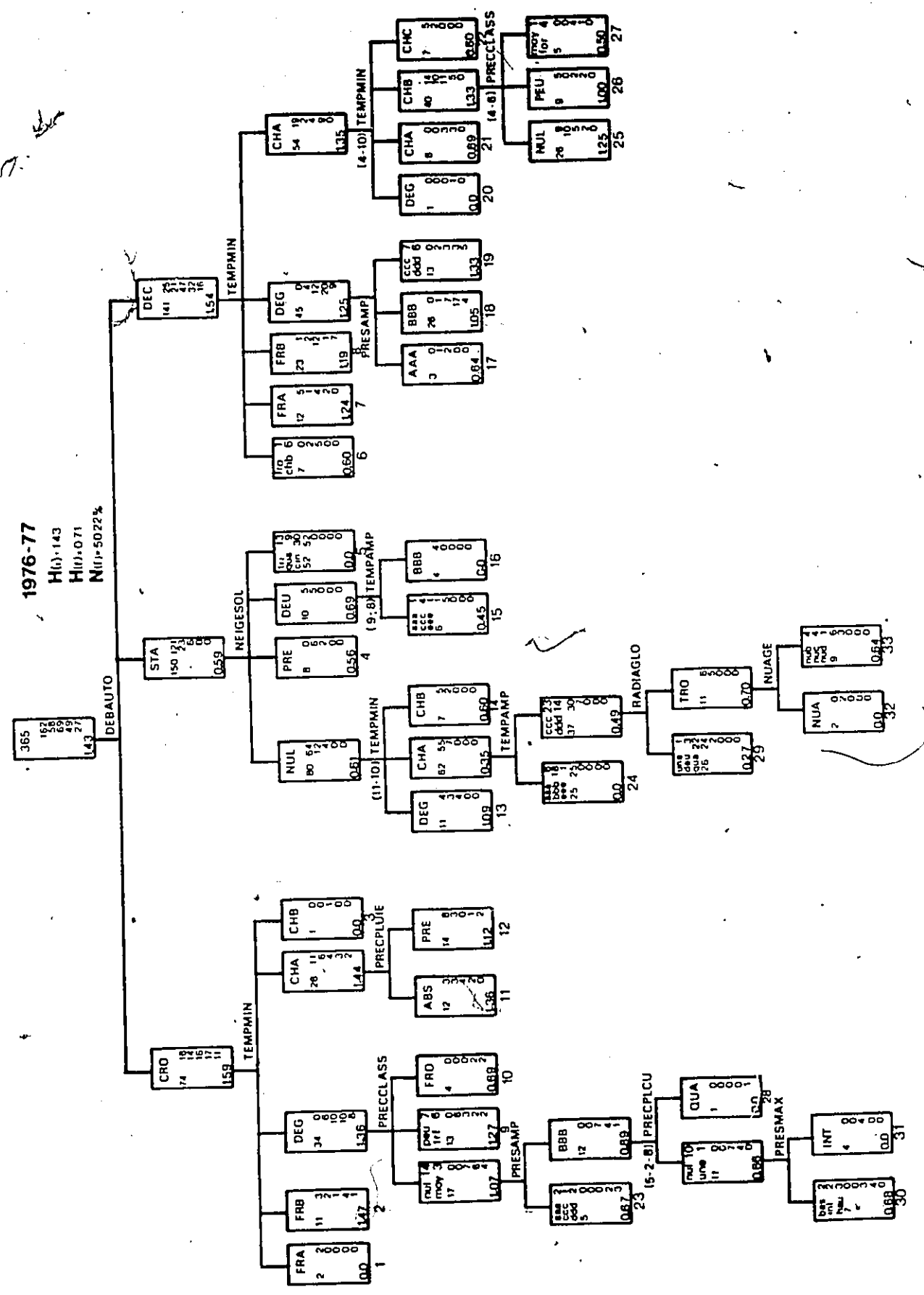
LEGENDE

section d'un dendrogramme

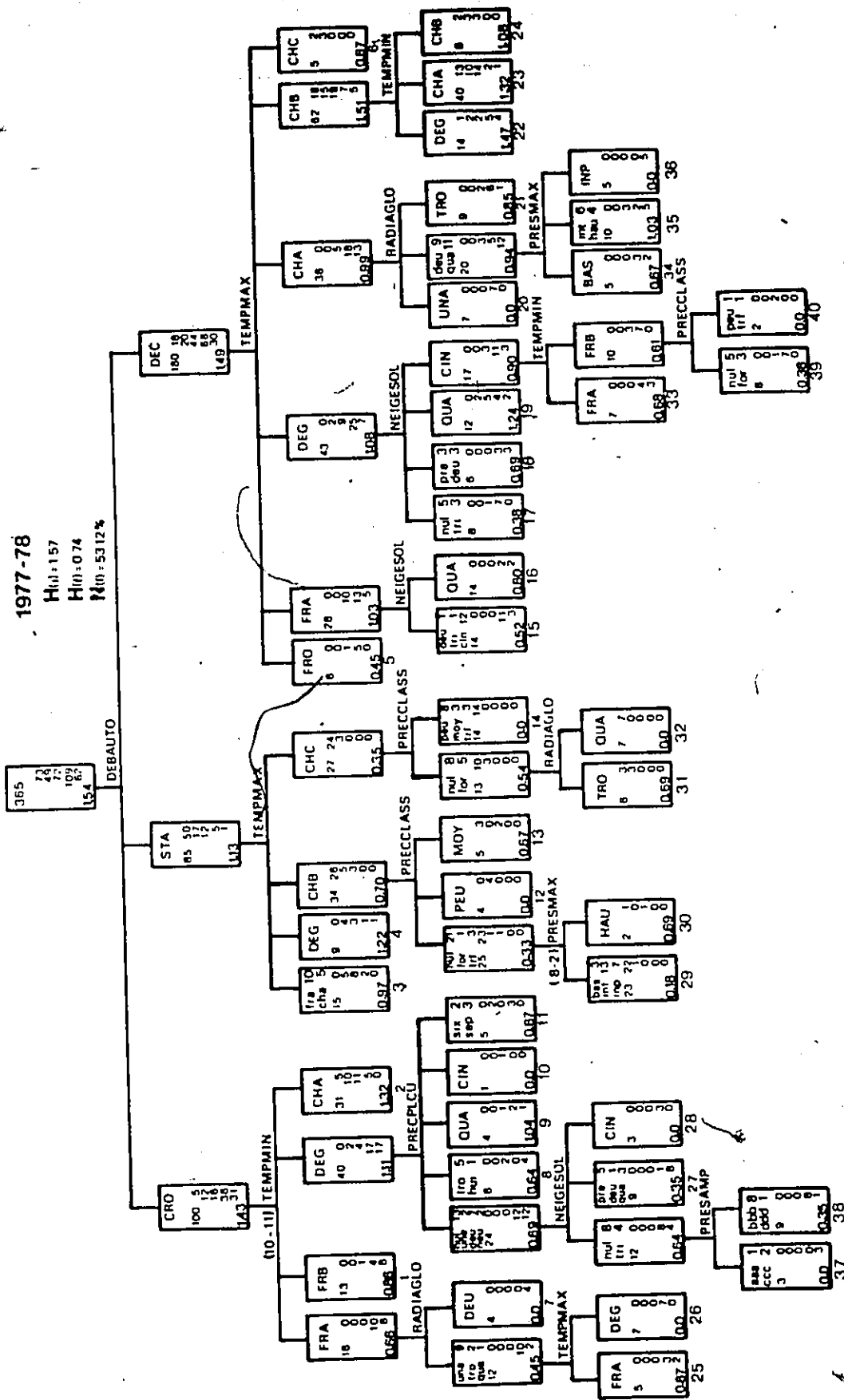
1972-73
 H(1)=144
 H(1)=078
 N(1)=4581%



1976-77
 H(i)-143
 H(ii)-071
 N(ii)-5022%



1977-78
 Hm:157
 Hm:074
 Mm:5312%



Liste des variables et de leurs numéros

nom		numéro (dendrogramme)
Nuage	(Enuagement)	1
Radiaglo	(Radiation globale)	2
Neigesol	(Neige au sol)	3
Precpluie	(Pluie ABS/PRE)	4
Precplcu	(Pluie cumulée)	5
Precclass	(Pluie classée)	6
Presamp	(Amplitude des pressions)	7
Presmax	(Pression maximale)	8
Tempamp	(Amplitude des températures)	9
Tempmax	(Température maximale)	10
Tempmin	(Température minimale)	11
Debauto	(tendance de l'écoulement)	12